

EFEITO DAS GOMAS XANTANA E/OU GUAR NA TEXTURA DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN ELABORADOS COM FARINHAS DE ARROZ E DE MILHO

Fabiana de Souza Botelho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Gastronómicas

Orientador: Doutora Maria Paulina Estorninho Neves da Mata

Co-Orientador: Doutora Anabela Cristina Silva Naret Moreira Raymundo

Júri:

Presidente: Doutora Catarina Paula Guerra Geoffroy Prista, Investigadora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Vogais: Doutora Maria da Conceição da Silva Loureiro Dias, Professora Catedrática Convidada Aposentada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Anabela Cristina Silva Naret Moreira Raymundo, Professora Associada do Instituto PIAGET;

Doutora Maria Paulina Estorninho Neves da Mata, Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;

Doutora Maria Cristiana Henriques Nunes.

Lisboa, 2012

AGRADECIMENTOS

A certeza que tenho é que nada nesta vida conquistamos sozinhos. A presença de outras pessoas é fundamental para que nossos objetivos sejam alcançados.

Meus sinceros agradecimentos:

À Deus pela sua presença na minha vida, por me orientar para as melhores escolhas e pelo conforto nos momentos difíceis.

Às minhas orientadoras e amigas Professoras Paulina Mata e Anabela Raymundo, por toda a sabedoria, empenho, paciência, e, acima de tudo, pela competência. Agradeço imensamente por acreditarem em mim e, por serem exemplos de profissional e de mulheres as quais sempre farão parte da minha vida.

À Prof^a Cristiana Nunes pelo carinho e prontidão com que sempre me auxiliou no manuseio dos equipamentos do laboratório, e nas análises dos resultados.

À Técnica de Laboratório Patrícia Fradinho pela sua disponibilidade em ajudar em todos os momentos, mas principalmente pela sua alegria e bom humor constantes.

Ao Instituto Piaget por disponibilizar a excelente estrutura do Laboratório de Investigação em Engenharia Alimentar e Biotecnologia do Núcleo de Investigação do Campus Universitário de Almada para a realização de todos os ensaios práticos.

À minha família, pelo amor e pela confiança mesmo que distante. Muito obrigada por sempre incentivarem os meus sonhos.

Ao meu marido, Daniel Botelho, pelo seu amor e paciência, principalmente por tornar possível a concretização deste sonho.

A todos os meus amigos (as) do mestrado pelo convívio e pelas experiências trocadas.

À Associação Portuguesa dos Celíacos (APC), em especial, a Presidente Marina Van Zeller e a Dietista Rita Jorge, por me receberem tão bem e, principalmente pelo apoio para a realização deste trabalho.

À Atlantic Meals, pelas amostras de farinha de arroz gentilmente cedidas.

A todos os professores do Mestrado em Ciências Gastronómicas pelo convívio e pelos ensinamentos.

Muito obrigada a todos que participaram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

RESUMO

A produção de pão sem glúten constitui um desafio tecnológico que envolve a criação de massas viscoelásticas sem o suporte da rede de glúten (existente em pães de trigo). Para tal a indústria recorre usualmente à utilização de hidrocolóides. Contudo os pães produzidos com tais ingredientes têm elevados custos e baixa acessibilidade. O objetivo deste trabalho é adaptar esta técnica à produção doméstica de pão isento de glúten.

Estudou-se o efeito das gomas xantana e guar em massas de pão, e na textura final desse pão. A avaliação das massas foi feita em termos das suas propriedades reológicas e de textura. O pão foi avaliado em termos de textura e de cor. Estudaram-se diversas proporções de gomas para uma concentração total de 1%(m/m). Destacou-se a mistura de 1:1 que originou massas com melhores características tecnológicas e pães menos firmes que o controle. Para essa proporção estudou-se o efeito da redução da concentração total de goma para 0,5%, que resultou numa melhoria das características do pão. Avaliou-se ainda o efeito da hidratação prévia das gomas (30 e 60 min), verificando-se que este processo não teve efeito significativo nas características finais do pão.

As curvas de envelhecimento do pão mostraram que a firmeza aumenta significativamente com o tempo, mas que o efeito das gomas se mantém.

Palavras chave: Pão sem glúten, doença celíaca, xantana, guar, milho, arroz.

ABSTRACT

The production of gluten-free bread poses a technological challenge that involves the creation of viscoelastic dough without the support of the gluten network (present on bread from wheat). For that purpose the, industry usually uses hydrocolloids. However the resulting bread is pricy and less accessible. The objective of this study is to adapt this technique to the home production of gluten-free bread.

The effects of xanthan and guar gums in bread doughs, as well as in the final texture of such bread, were studied. Gluten free doughs were evaluated regarding their rheologic properties and texture parameters. Bread was evaluated in terms of texture and colour. Different gum proportions were studied in a total concentration of 1% (w/w). The proportion of 1:1 mixture originated a dough with an improved technological characteristic and a bread less firm than the control. For this proportion, a reduction of the total gum concentration to 0.5% was evaluated, resulting in an improvement of the characteristics of the bread. Previous hydration of gums was also evaluated (30 and 60 min) showing no significant effect on final bread characteristics.

Aging curves showed that bread firmness significantly increases with time, but gums effects are sustained.

Key words: Gluten-free bread, celiac disease, xanthan, guar, corn, rice.

EXTENDED ABSTRACT

Development of gluten-free food products has earned special attention in later years, answering the specific needs of celiacs. This group of people has a digestive pathology characterized by a damage of the small bowel in genetically predisposed individuals. The production of gluten-free bread poses a challenge in technological terms, as it implies the creation of viscoelastic dough without the support of the traditional gluten network.

The objective of this study is to contribute to the development of efficient formulations that permit home production of gluten-free bread, at low costs and allowing celiac people to consume bread in a regular fashion without the elevated costs usually associated to this kind of product.

Different types of flour generally used as substitutes for wheat flour in gluten-free bakery, due to their limited capacity in producing viscoelastic dough, do not hold the CO₂ produced during fermentation. To overcome this problem, industry utilizes mixtures of hydrocolloids to improve the rheological characteristics and texture and these, as an adding factor, have proven nutritional benefits. However, this knowledge is neither accessible nor adapted to a small scale production.

In order to define the formulation of the gluten-free bread to be developed, preliminary trials were made using available recipes specially aimed at celiac people. The flour base of the final formulation consists of 50% rice flour and 50% corn flour, to which are added other ingredients as lyophilized yeast, salt, sugar, xanthan gum, guar gum and water in specific proportions.

In an initial stage, mixtures with different proportions of xanthan and guar gum were tested (0, 25, 50 and 100%) for a total gum incorporation of 1% (w/w). Small amplitude oscillatory measurements (SAOS) were performed to characterize the resulting dough, as well as textural characterization was performed,

Adding gums in association or isolated results in a decrease on structural degree of dough in comparison to the control dough (without the addition of gums). It was verified as well that the 100% xanthan dough was the less structured system (lowest G' and G'') followed by the 100% guar dough formulation. The formulations with gum mixtures are more structured, without a very distinct behavior between different gum to gum proportions. Therefore, a synergic effect of both gums in dough structure formation was shown.

In a second stage, the impact of the preliminary hydration of the gums (for 30 and 60 minutes) and the reduction of total gum concentration from 1% to 0.5 and were evaluated.

Studies included the analysis of dough and loaf texture and the rheological characterization of the dough. The water activity (a_w) of dough, core color of the bread and the influence of time in the aging of bread were also analyzed.

To determine significant differences between the mean values obtained for a given parameter, data were submitted to analysis of variance (ANOVA) on-way, using the Scheffé test, considering in all data a significance level of 5%.

It was shown that for a total gum concentration of 1% (w/w) without previous hydration, the proportion of 50% for each gum allowed to obtain a dough with better technological abilities and a bread with a final texture potentially more acceptable by consumers.

The reduction of gum proportion from 1% to 0.5% (w/w) regardless of hydration time, improved the internal structure of bread. It was verified that dough obtained from previously hydrated gums was statistically less firm ($p < 0.05$) than dough obtained from non-hydrated gum 1% (w/w) mixture, both in compression and TPA tests. Previous hydration of gums did not have a significant ($p > 0.05$) effect in bread core firmness in relation to the non-hydrated gums 1% (w/w).

It was verified that bread with 0.5% (w/w) previously hydrated gum proportion after 2 hours showed a much higher firmness – 11.36N – compared to the firmness of bread with 0.5% (w/w) non-hydrated gum proportion – 4.93N. In general, bread core firmness increased with time of storage.

In conclusion, values obtained in the aging curves strongly suggest an advantage in not hydrating gums previously and that using a percentage of 0.5% (w/w) of gums in equal proportions 1:1 generates a less firm loaf. In this study, it was not possible to perform a more complete evaluation in order to confirm such results, but that is a hypothesis to be explored in the future.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
EXTENDED ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE QUADROS.....	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Doença Celíaca.....	4
1.2 Massa de pão: uma espuma alimentar	7
1.2.1 Principais passos do processo de fabrico do pão	9
1.3 Papel do glúten em produtos de panificação	10
1.4 Desenvolvimento de produtos de panificação isentos de glúten	11
1.4.1 Farinhas isentas de glúten.....	12
1.4.2 Farinha de milho	13
1.4.3 Farinha de arroz	14
1.5 Papel do amido em panificação	14
1.6 Hidrocolóides.....	16
1.6.1 Aplicação dos hidrocolóides em produtos de panificação	19
1.6.2 Goma Xantana.....	21
1.6.2.1 Estrutura da goma xantana	21
1.6.2.2 Propriedades funcionais	22
1.6.2.3 Efeito de sais, pH e temperatura na viscosidade da solução	24
1.6.2.4 Utilizações da goma xantana na indústria alimentar	24
1.6.3 Galactomananas.....	25
1.6.3.1 Estrutura das galactomananas	26
1.6.3.2 Propriedades funcionais	26
1.6.4 Goma Guar	27
1.6.4.1 Estrutura da goma guar	27
1.6.4.2 Propriedades funcionais	27
1.7 Interações sinérgicas entre hidrocolóides	28
1.8 Interações entre o amido e outros hidrocolóides	30
1.9 Avaliação das propriedades de textura	31
1.10 Análise do comportamento viscoelástico de um alimento	34
2 MATERIAIS E MÉTODOS	37
2.1 Materiais.....	37

2.2	Metodologia.....	38
2.2.1	Preparação da massa de pão.....	38
2.2.2	Comportamento reológico das massas de pão	39
2.2.3	Avaliação da textura da massa e do pão.....	40
2.2.4	Análise da cor do miolo do pão	41
2.2.5	Atividade de água (A_w) da massa	41
2.2.6	Envelhecimento do pão	42
2.2.7	Análise Estatística	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1	Impacto das diferentes proporções de goma xantana e guar nas propriedades do pão	43
3.1.1	Aparência da estrutura interna dos pães com diferentes proporções de gomas não hidratadas.....	43
3.1.2	Atividade de água (a_w) das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas.....	44
3.1.3	Análise do Perfil de Textura (TPA) das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas.....	45
3.1.4	Teste de Compressão das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas.....	48
3.1.5	Teste de Compressão dos pães obtidos com diferentes proporções de gomas não hidratadas.....	49
3.1.6	Cor do miolo dos pães obtidos com diferentes proporções de gomas não hidratadas....	51
3.2	Avaliação do efeito da hidratação prévia das gomas.....	52
3.2.1	Aparência da estrutura interna dos pães obtidos com gomas previamente hidratadas. ...	52
3.2.2	Atividade de água (a_w) das massas com 0,5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	53
3.2.3	Análise do Perfil de Textura (TPA) das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).....	54
3.2.4	Teste de Compressão das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).....	58
3.2.5	Teste de Compressão dos pães obtidos com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).....	60
3.2.6	Cor do miolo dos pães com as gomas hidratadas.....	62
3.3	Análise do envelhecimento do pão	63
3.4	Comportamento reológico das massas.....	66
4	CONCLUSÕES GERAIS	69
4.1	TRABALHOS FUTUROS	70
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de má absorção e sintomas da doença celíaca.	6
Figura 2. Esquema que ilustra a formação do filme numa espuma, quando a bolha de gás alcança a superfície de uma solução de agentes tensioativos.....	8
Figura 3. Estrutura final do miolo do pão, onde se evidencia uma estrutura esponjosa formada por alvéolos com uma distribuição típica.....	8
Figura 4. Os três principais passos envolvidos no processo do fabrico do pão tradicional.	9
Figura 5. Estrutura do glúten (200x).	10
Figura 6. Esquema que ilustra a formação do glúten.	11
Figura 7. Comparação de massas feitas com farinha de trigo e com farinha de milho.	13
Figura 8. Estrutura molecular dos polímeros de glicose: A- amilose e B- amilopectina.	15
Figura 9. Representação esquemática de um grânulo de amido.	15
Figura 10. Processo de Gelatinização do Amido..	16
Figura 11. Estrutura primária da Goma Xantana.	22
Figura 12. Comparação da viscosidade da goma xantana e outras soluções de hidrocolóides (0,5% de concentração) quando submetidas a diversas taxas de deformação e equivalência destas com processos específicos..	23
Figura 13. Fragmento estrutural básico da goma de alfarroba, goma tara, guar e celulose.	26
Figura 14. Estrutura química da Goma Guar..	27
Figura 15. Esquema que ilustra resíduos de galactose de uma molécula de galactomanana..	28
Figura 16. Esquema da interação intermolecular entre as moléculas da goma xantana e da goma de alfarroba em solução.....	29
Figura 17. Texturómetro utilizado neste trabalho para os ensaios de «two bite» e compressão não destrutivo das massas de pão e do pão.....	32
Figura 18. Representação esquemática do texturograma de um ensaio de das duas dentadas («two bite»). D- Dureza ou firmeza, A_1/A_2 - coesividade, A_3 - adesividade..	32
Figura 19. Representação esquemática do texturograma típico de um teste de compressão à massa do pão.	34
Figura 20. Curvas de fluxo de fluidos representativas dos diferentes tipos de comportamento reológico. 1- reoespessante, 2-newtoniano, 3- reofluidificante	35
Figura 21.Espectros mecânicos de dois tipos de materiais viscoelásticos. A- Solução não estruturada (polímero entrelaçado) B- Solução estruturada (gel forte).	35
Figura 22.Fluxograma do processo do preparação da massa sem a prévia hidratação das gomas....	38
Figura 23.Fluxograma do processo de preparação da massa com a prévia hidratação das gomas....	39
Figura 24. Teste de compressão não destrutivo ao pão.	41
Figura 25. Aparência da estrutura interna dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções após 24hs de preparação.....	43

Figura 26. Atividade de água (a_w) das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções.	44
Figura 27. Firmeza das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	45
Figura 28. Adesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	46
Figura 29. Coesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	47
Figura 30. Elasticidade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	47
Figura 31. Firmeza por compressão das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	48
Figura 32. Elasticidade por compressão das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.	49
Figura 33. Firmeza dos pães, com adição de 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtida por testes de compressão.	50
Figura 34. Elasticidade dos pães, com adição de 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtida por testes de compressão.	51
Figura 35. Aparência da estrutura interna dos pães com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min), após 24hs de preparação.	53
Figura 36. Atividade de água (a_w) das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	54
Figura 37. Firmeza das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	55
Figura 38. Adesividade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).	56
Figura 39. Coesividade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).	57
Figura 40. Elasticidade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min).	58
Figura 41. Firmeza das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	59
Figura 42. Elasticidade das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	60
Figura 43. Firmeza dos pães, obtida por teste de compressão, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	61
Figura 44. Elasticidade dos pães, obtida por teste de compressão, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	62

Figura 45. Influência do tempo de armazenamento na firmeza (a) e elasticidade (b) dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação com 0,5% (m/m) de gomas previamente hidratadas durante 30min.....	63
Figura 46. Influência do tempo de armazenamento na firmeza dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação controle (sem adição de gomas) – (a) e com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas (NH) - (b).	64
Figura 47. Influência do tempo de armazenamento na elasticidade dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação controle (sem adição de gomas) - (a) e com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas (NH) (b).....	65
Figura 48.Espetros mecânicos das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções.	67
Figura 49.Espetros mecânicos das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	68

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Manifestações clínicas da Doença Celíaca	5
Quadro 2. Sensibilidade e especificidade dos testes serológicos na doença celíaca	5
Quadro 3. Principais hidrocolóides comercializados.....	17
Quadro 4. Principais hidrocolóides com função espessante e/ou gelificante.	18
Quadro 5. Principais propriedades da goma xantana	23
Quadro 6. Principais parâmetros correlacionados com a avaliação sensorial de um alimento	33
Quadro 7. Formulação das massas com 1% de massa total de gomas em diferentes proporções	37
Quadro 8. Valores obtidos do parâmetro L^* e das coordenadas cromáticas a^* e b^* da análise das amostras do miolo dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções... ..	52
Quadro 9. Valores obtidos do parâmetro L^* e das coordenadas cromáticas a^* e b^* da análise das amostras do miolo dos pães com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)	63

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abmilho – Associação Brasileira de Milho

APC – Associação Portuguesa dos Celíacos

CE – Comunidade Européia

CMC - Carboximetilcelulose

DC – Doença Celíaca

DIG – Dieta Isenta de Glúten

EFSA – European Food Safety Authority

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization

FDA – Food and Drug Administration

HLA - Antígenos de leucócitos humanos

HPMC – Hidroxipropilmetilcelulose

TPA – Análise de Perfil de Textura

WHO – World Health Organization

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A doença celíaca (DC) ocorre em crianças e adultos geneticamente predispostos que manifestam uma intolerância permanente a algumas prolaminas, que constituem o glúten dos alimentos (Fasano, *et al.*, 2003). O glúten é uma rede formada pelas proteínas de armazenamento do trigo, cevada, centeio e raramente da aveia. A gliadina é a fração tóxica do glúten de trigo, contudo, prolaminas estruturalmente semelhantes à gliadina, constituem o glúten de outros cereais. No centeio esta fração tóxica é denominada secalina, na cevada hordeína e na aveia avenina (Araújo, *et al.*, 2009; Arendt, *et al.*, 2008). Nestes indivíduos geneticamente predispostos, a ingestão das referidas frações proteicas conduz a um processo inflamatório crônico da mucosa do intestino delgado caracterizado por uma infiltração celular inflamatória com destruição progressiva das vilosidades intestinais. Isto conduz, por sua vez, a limitações na digestão dos alimentos e consequentemente a uma má absorção de uma variedade de macronutrientes e de micronutrientes. A doença é permanente, ocorrendo dano do intestino cada vez que se consome glúten, independentemente da presença dos sintomas clássicos (AGA Institute, 2006; Fasano, *et al.*, 2008; Volta e Villanacci, 2011).

Com o diagnóstico confirmado para a doença celíaca, o único tratamento atualmente disponível é a dieta isenta de glúten (DIG) durante toda a vida. Numa DIG, o trigo, a cevada e o centeio são eliminados, bem como qualquer alimento obtido a partir desses grãos. A aveia, desde que seja pura e não contaminada com outros grãos, é segura para o consumo em mais de 95% dos casos. A melhoria do paciente que adere a DIG está relacionada com a cura completa do intestino delgado, e pode levar vários meses (Jorge, 2005; Pedro, *et al.*, 2008).

O pão é um dos alimentos mais consumidos e, para muitas populações no mundo, é um elemento fundamental na dieta alimentar. No contexto atual o pão apresenta-se sob numerosas variedades, condicionadas pelo tipo das culturas de cereais, os hábitos alimentares e as preferências do consumidor. A farinha é o ingrediente primordial para a produção de pães. A farinha de trigo é a mais eficaz na elaboração de pães com boas características organolépticas, pois tem na sua constituição todos os ingredientes fundamentais para a obtenção de uma boa massa. O amido, que fornece volume, ajuda a fermentação e confere a cor dourada durante a cozedura. E o glúten, um complexo de proteínas potencialmente desenvolvido pela farinha de trigo, permite adequada expansão e crescimento do pão, garantido a retenção do gás produzido durante a fermentação (Canella-Rawls, 2003).

As farinhas de arroz e milho não produzem massas com as características de extensibilidade e viscoelasticidade comuns nas massas de trigo, ou seja, não apresentam a capacidade de formar o glúten. Contudo, estas farinhas são frequentemente utilizadas como substitutas da farinha de trigo para a confecção de produtos alimentares isentos de glúten. O desenvolvimento de produtos de panificação isentos de glúten à base de farinha de arroz e de milho é um desafio porque os produtos obtidos apresentam pouco volume, e um miolo mais compacto (Gallagher, *et al.*, 2003). Vários hidrocolóides como hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), carboximetilcelulose (CMC), gomas de alfarroba, guar e xantana e alginato, entre outros, têm sido estudados, visando a melhoria das

características viscoelásticas das massas isentas de glúten (Crockett, *et al.*, 2011, Rossell, *et al.*, 2001, Lazaridou, *et al.*, 2007, Sciarini, *et al.*, 2010).

Os hidrocolóides são, maioritariamente, polissacáridos obtidos de fontes naturais ou sintéticas, que assumem uma grande importância em vários setores de atividade, e particularmente na indústria alimentar, devido à sua funcionalidade tecnológica. São amplamente utilizados como estabilizantes de emulsões, agentes de absorção de água, espessantes e gelificantes. Geralmente, são usados em pequenas concentrações e, em geral, não contribuem para o sabor, aroma ou valor nutricional dos alimentos (Cubero, *et al.*, 2002; Phillips, e Williams, 2000).

Em geral, a escolha de um hidrocolóide é feita em função das características desejadas no produto final, mas é também influenciada pelo fator custo e regularidade no fornecimento (Phillips e Williams, 2000). Para a realização deste trabalho, optou-se pela utilização dos hidrocolóides, goma xantana e goma guar, de custos mais acessíveis. Além da disponibilidade atual destes hidrocolóides em lojas nacionais. A goma xantana é um polissacárido extracelular secretado pela bactéria *Xanthomonas campestris* na superfície da parede celular durante o seu ciclo de vida normal. Na natureza estas bactérias encontram-se em folhas dos vegetais *Brassica*, como o repolho. Comercialmente, a goma xantana é produzida via fermentação aeróbica, num meio contendo glicose, uma fonte de azoto e vários elementos traço. No final da fermentação o caldo é pasteurizado para matar a bactéria e a goma xantana é recuperada pela precipitação com álcool isopropílico. Finalmente, o produto é moído, seco e embalado (Phillips e Williams, 2000). Já, a goma guar, um polissacárido vegetal (de galactose e manose), é obtida do endosperma das sementes da planta guar, *Cyamopsis tetragonoloba* L. Esta planta cresce principalmente na Índia e Paquistão, e pertence à família das leguminosas (Phillips e Williams, 2000).

Uma área de grande interesse em termos práticos e de investigação é a interação sinérgica entre dois hidrocolóides. As misturas de hidrocolóides são comumente utilizadas para conferir novas e melhores características reológicas aos produtos de panificação isentos de glúten como aumento da viscosidade e melhoria da capacidade de retenção de CO₂ das massas, resultando em produtos com maior volume e miolos menos compactos, além de possibilitar reduzir as quantidades utilizadas, reduzindo os custos (Tubari, *et al.*, 2008; Williams, *et al.*, 1991). A combinação de gomas xantana e guar exemplifica uma interação sinérgica clássica entre hidrocolóides.

Um dos principais objetivos deste trabalho é produzir uma formulação de pão que possa ser feita em casa, com um processo tecnologicamente simples, a um baixo custo e que permita aos doentes celíacos consumirem o pão de uma forma regular sem os elevados custos que estão normalmente associados a este tipo de produto.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição das gomas xantana e guar em diferentes proporções e em diferentes tempos de hidratação nas características das massas e na textura de pães isentos de glúten à base de farinhas de arroz e de milho.

Na primeira parte do trabalho, foi realizado um ensaio que teve como objetivo a produção de um pão isento de glúten à base de farinhas de arroz e de milho, utilizando as gomas xantana e guar na concentração de 1% (m/m) em diferentes proporções. Na segunda parte do trabalho, após a escolha da proporção mais adequada entre as gomas utilizadas, foi realizado um ensaio com o

objetivo de avaliar o efeito da hidratação prévia da mistura das gomas, tendo-se considerado dois tempos de hidratação - 30 e 60 minutos. Tendo em vista a possibilidade de reduzir o custo total das formulações a desenvolver, avaliou-se ainda o efeito da redução do teor total de goma de 1% para 0,5% (m/m).

Foram avaliadas neste trabalho:

Massa de pão	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de água (a_w); • Firmeza e elasticidade, através de ensaio de compressão uniaxial a uma taxa de deformação constante; • Firmeza, elasticidade, adesividade e coesividade (TPA), através de ensaio de penetração a uma taxa de deformação constante; • Comportamento reológico em termos de testes oscilatórios de pequenas tensões – zona de viscosidade linear.
Pão	<ul style="list-style-type: none"> • Aparência da estrutura interna, através do tipo e distribuição dos alvéolos; • Firmeza e elasticidade, através de ensaio de compressão uniaxial a uma taxa de deformação constante; • Cor do miolo em termos das coordenadas do sistema CIELAB, através dos valores de L^*, a^*, b^*; • Influência do tempo de armazenamento na firmeza e elasticidade, através de ensaio de compressão uniaxial a uma taxa de deformação constante.

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Investigação em Engenharia Alimentar e Biotecnologia do Núcleo de Investigação do Instituto Piaget, Almada, Portugal, durante o ano 2011-2012.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Doença Celíaca

A doença celíaca (DC) ocorre em crianças e adultos geneticamente predispostos que manifestam uma intolerância permanente a algumas prolaminas, componentes do glúten dos alimentos (Fasano, *et al.*, 2003). O glúten é uma rede formada pelas proteínas de armazenamento do trigo, cevada, centeio e raramente da aveia. A gliadina é a fração tóxica do glúten de trigo, e prolaminas estruturalmente semelhantes à gliadina, constituem o glúten de outros cereais. No centeio esta fração tóxica é denominada secalina, na cevada hordeína e na aveia avenina (Araújo, *et al.*, 2009; Arendt, *et al.*, 2008). As sequências de peptídeos específicas que podem promover as respostas imunes são bastante variáveis, a sequência peptídica de 33 aminoácidos, obtida a partir de uma α -gliadina, que sobrevive intacta à digestão intestinal, é especialmente imunogénica para o intestino celíaco. As referidas proteínas de armazenamento dos cereais, quando submetidas a uma digestão parcial no trato gastrointestinal superior, resultam numa ampla variedade desses péptidos, alguns dos quais os responsáveis pelos problemas associados à doença celíaca (AGA Institute, 2006; Jorge, 2005; Pedro, *et al.*, 2008).

Nestes indivíduos geneticamente predispostos para a intolerância ao glúten, a ingestão das referidas frações proteicas conduz a um processo inflamatório crónico da mucosa do intestino delgado caracterizado por uma infiltração celular inflamatória com destruição progressiva das vilosidades intestinais. Isto conduz, por sua vez, a limitações na digestão dos alimentos e consequentemente a uma má absorção de uma variedade de macronutrientes e de micronutrientes. A doença é permanente, ou seja, apresenta-se como crónica, verificando-se dano do intestino cada vez que se consome glúten, independentemente da presença dos sintomas clássicos (AGA Institute, 2006; Fasano, *et al.*, 2008; Volta e Villanacci, 2011).

Até o momento, foi identificado apenas um grupo de genes ligado a todas as populações com doença celíaca em todo o mundo. Esses genes codificam para o HLA (antígenos de leucócitos humanos) e estão localizados no cromossoma 6. Nos Estados Unidos aproximadamente 25%-40% da população geral transporta o HLA de classe II (HLA-DQ2 ou HLA-DQ8). No entanto, quase todos os indivíduos com doença celíaca transportam a molécula DQ2 ou DQ8. O HLA-DQ2 é encontrado em aproximadamente 95% dos pacientes com doença celíaca (AGA Institute, 2006; Volta e Villanacci, 2011). A presença de DQ2 está associado com uma variedade de doenças “autoimunes” como doença da tiroide, doença de Addison e Diabetes Mellitus tipo 1. Contudo, a expressão do gene HLA-DQ2 é necessário, mas não suficiente para o desenvolvimento da doença. Estudos entre irmãos, em que o risco de ocorrência da DC é de 10%, e a alta concordância entre gémeos homozigóticos (aproximadamente 70%) sugerem que os genes HLA são essenciais, mas não são os únicos fatores necessários para a manifestação da doença (AGA Institute, 2006; Jorge, 2005).

A DC apresenta um quadro clínico muito complexo e variável. A sintomatologia da doença celíaca é classificada clinicamente como: clássica, onde há o predomínio de sintomas

gastrointestinais; atípica, com predomínio de sintomas não gastrointestinais (Quadro 1); e silente, assintomática apesar da presença de lesão intestinal característica (Jorge, 2005).

Quadro 1. Manifestações clínicas da doença celíaca

Manifestações gastrointestinais da DC	Manifestações não gastrointestinais da DC
Diarreia Esteatorreia Desconforto abdominal recorrente Distensão abdominal Flatulência excessiva Náuseas/ vômitos Obstipação Estomatite aftosa recorrente Elevação inexplicada das enzimas hepáticas	Baixa estatura isolada Anemia (deficiência de ferro com resposta inadequada ao tratamento com ferro) Infertilidade não explicada/abortos espontâneos recorrentes Hipoplasia do esmalte dentário Atraso no início da puberdade Redução na densidade óssea: osteopênia/osteoporose Dermatite herpetiforme Edemas periféricos/hipoalbuminémia

Fonte: Jorge, 2005; Fasano e Catassi, 2001.

O diagnóstico da DC baseia-se inicialmente no exame de sangue, em que são realizados testes serológicos de rastreio para a doença. Devido à complexidade da DC, estes testes baseados em anticorpos têm sido utilizados antes de prosseguir com a biópsia intestinal. Vários anticorpos séricos têm sido descritos associados à doença celíaca, entre eles, os anticorpos antigliadina IgA, os anticorpos antiendomísio IgA, e mais recentemente os anticorpos anti-transglutaminase tecidual IgA (Volta e Villanacci, 2011; Vitoria, *et al.*, 1999; Antunes, *et al.*, 2006). O Quadro 2 mostra que a especificidade destes testes, entre os 85% - 100%, e a elevada sensibilidade são dados suficientes para utilizá-los no rastreio da doença celíaca (AGA Institute, 2006; Pedro, *et al.*, 2008).

Quadro 2. Sensibilidade e especificidade dos testes serológicos na doença celíaca

Testes serológicos	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
Anticorpo Antigliadina IgA	87	85
Anticorpo Antiendomísio IgA	93	100
Anticorpo Anti transglutaminase tecidual IgA	95	95

Fonte: Adaptado de Pedro, *et al.*, 2008.

Apesar dos métodos expeditos referidos, as orientações atuais ainda recomendam a realização de uma biópsia intestinal para confirmar a presença de mudanças histológicas características que apoiem o diagnóstico da doença (Caja, *et al.*, 2011; Hill, *et al.*, 2005; AGA Institute, 2006). Estas mudanças caracterizam-se pela presença de atrofia das vilosidades, hiperplasia das criptas e inflamação profunda. A magnitude da má absorção e dos sintomas em pacientes com a DC correlaciona-se muitas vezes com a extensão da lesão da mucosa do intestino delgado, de acordo com o espectro de Marsh (Figura 1). A classificação de Marsh da DC traduz as alterações histológicas detectadas em relação ao espectro da doença. No grau I e II observa-se praticamente nenhuma atrofia das vilosidades e poucas criptas hiperplásicas. Nos graus IIIa e IIIb verifica-se uma má absorção com atrofia parcial das vilosidades e algumas criptas hiperplásicas e, por último, o grau

IIIc mostra uma atrofia completa das vilosidades, má absorção extensiva e uma marcada hiperplasia das criptas (Caja, *et al.*, 2011; AGA Institute, 2006).

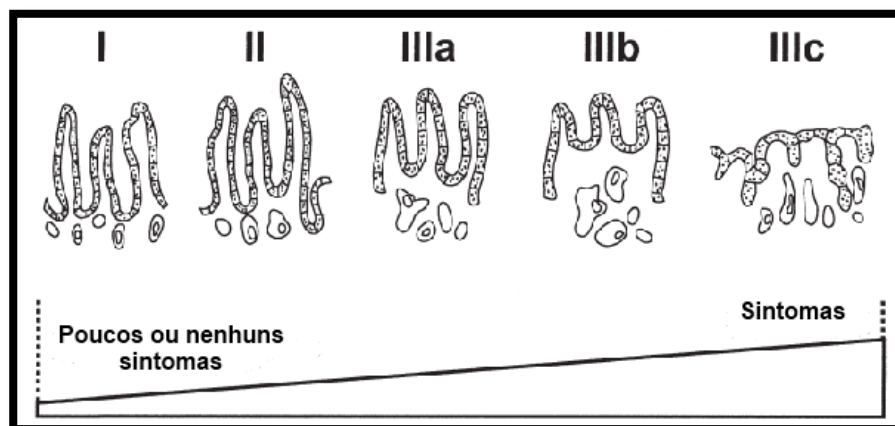


Figura 1. Espectro de má absorção e sintomas da doença celíaca.

Fonte: Adaptada de AGA Institute, 2006.

Estudos atuais evidenciam que a DC é comum nos Estados Unidos, Europa Ocidental e Oriental, e muitos outros países, com exceção do Japão. A prevalência da DC varia muito entre e dentro dos diferentes países. Esta variabilidade é atribuída a diferenças populacionais relativamente ao risco da DC, assim como diferenças no desenho do estudo e estratégias de triagem (AGA Institute, 2006). Um estudo realizado numa população portuguesa de adolescentes do concelho de Braga (Antunes, *et al.*, 2006), concluiu que a avaliação da IgA total, em conjunto com a determinação dos anticorpos anti-transglutaminase tecidual, é aparentemente o melhor método de rastreio da doença celíaca. Neste estudo a prevalência da DC encontrada foi de 1: 134, e está de acordo com a prevalência referida em populações europeias que é de 1:200 a 1:400. Estes resultados corroboram com as orientações atuais que recomendam que o teste da anti-transglutaminase tecidual seja usado como um teste de rastreio mais fidedigno e com uma melhor relação custo-eficácia para a doença celíaca (Hill *et al.*, 2005; AGA Institute, 2006).

Com o diagnóstico confirmado para a doença celíaca, o único tratamento atualmente disponível é a dieta isenta de glúten (DIG) durante toda a vida. Numa DIG, o trigo, a cevada e o centeio são eliminados, bem como qualquer alimento obtido a partir desses grãos. A aveia, desde que seja pura e não contaminada com outros grãos, é segura para o consumo em mais de 95% dos casos. A melhoria do paciente que adere a DIG está relacionada com a cura completa do intestino delgado, e pode levar vários meses (Jorge, 2005; Pedro, *et al.*, 2008). Contudo, esta dieta pode ser de difícil manutenção para o paciente e envolve custos adicionais significativos para a família. Por isso, é fundamental que o diagnóstico seja confirmado antes do tratamento ser recomendado.

Investigadores avaliaram o efeito da DIG nos sintomas gastrointestinais em 215 pacientes examinados na Universidade de Iowa (EUA) com diagnóstico de DC (Murray, *et al.*, 2004), tendo concluído que com a exclusão do glúten da dieta, os pacientes apresentaram uma melhoria substancial e rápida dos sintomas. A diarreia respondeu positivamente na maioria dos pacientes,

geralmente dentro de dias, e o tempo médio de resolução foi de 4 semanas. A dieta também resolveu a dor abdominal e o inchaço da maioria dos pacientes.

Apesar da demonstrada eficácia das dietas isentas de glúten, mudanças nos hábitos alimentares são difíceis de manter. Intervenções que tenham como objetivo melhorar o conhecimento sobre a DC e sobre a DIG e, especificamente, como identificar os produtos que contêm glúten, provavelmente melhoraria a aceitação e, conseqüentemente a adesão à dieta por parte dos pacientes. Alguns estudos sugerem que a associação a um grupo de celíacos local parece ser eficaz na melhora do cumprimento da DIG (Leffler, *et al.*, 2008; Lamontagne, *et al.*, 2001).

A leitura dos rótulos alimentares é importante para o doente celíaco para que transgressões da dieta não sejam cometidas. De acordo com legislação europeia, o regulamento (CE) nº 41/2009, de 20/1/2009, afirma que todos os géneros alimentícios industrializados que tenham como objetivo responder às necessidades das pessoas com intolerância ao glúten deverão conter obrigatoriamente no rótulo, as inscrições “teor muito baixo de glúten” ou “isento de glúten”, conforme o caso. Para fins de rotulagem um produto só pode conter a inscrição «isento de glúten» se o teor de glúten não for superior a 20 mg/kg ou 20ppm no alimento. Essa medida facilita e transmite maior confiança aos doentes celíacos quanto à escolha dos alimentos da dieta.

1.2 Massa de pão: uma espuma alimentar

Uma espuma alimentar é uma dispersão de bolhas de gás (geralmente ar ou dióxido de carbono) numa fase líquida contínua. Como outros sistemas de dispersão, tal como suspensões e emulsões, a espuma caracteriza-se por uma interface altamente desenvolvida, que determina as suas propriedades. Na maioria das espumas, as bolhas de gás são separadas por várias camadas finas de líquido, ou seja, filmes, que geralmente contêm agentes tensioativos (Figura 2) (Vaclavik e Christian, 2008; Exerowa e Kruglyakov, 1998). A composição da fase contínua é determinante para a capacidade de formação da espuma e para a sua estabilidade. A fase contínua pode ser uma dispersão simples, como na clara de ovo, que é uma dispersão de proteína diluída, ou pode ser complexa, contendo gotículas de gordura emulsionadas, cristais de gelo e/ou matérias sólidas, como no caso da massa de farinha de trigo levedada (Vaclavik e Christian, 2008; Exerowa e Kruglyakov, 1998).

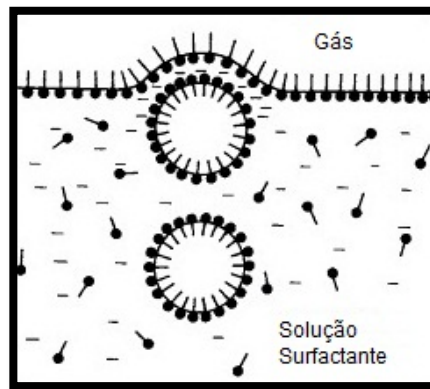


Figura 2. Esquema que ilustra a formação do filme numa espuma, quando a bolha de gás alcança a superfície de uma solução de agentes tensioativos. Fonte: Adaptado de Exerowa e Kruglyakov, 1998.

Estruturalmente, a massa de farinha de trigo levedada é um sistema constituído de polímeros hidratados (amido e glúten) que formam a fase contínua e a fase dispersa que consiste de CO_2 . Como resultado, a massa de farinha de trigo assemelha-se a uma espuma. Muitas condições são necessárias para produzir uma boa espuma: trabalho mecânico, agentes tensioativos que reduzam a tensão superficial e a formação de espuma mais rápida do que a sua degradação. A estabilização dessa espuma origina uma estrutura final em que a matriz contínua é rígida, ou seja, uma esponja (Figura 3). A textura final do pão é determinada pela capacidade de retenção de CO_2 da massa, pela densidade das bolhas de CO_2 e pela distribuição dessas bolhas na estrutura (alvéolos). As espumas contribuem para melhorar o volume e a textura de muitos produtos alimentares e conseqüentemente as suas características sensoriais. Pelo contrário, espumas mal formadas podem originar produtos compactos, com baixo volume, pouco atraentes para os consumidores (Vaclavik e Christian, 2008).



Figura 3. Estrutura final do miolo do pão, onde se evidencia uma estrutura esponjosa formada por alvéolos com uma distribuição típica.

O pão é o resultado da cozedura de uma massa viscoelástica formada por uma mistura de farinha, água, sal e levedura. Podem ser utilizados outros ingredientes, como ovos, gordura, leite e derivados, emulsionantes e melhorantes. Ao longo do tempo, a quantidade e características dos ingredientes foram sendo alteradas para criar maior variedade de pães e diferenciar sabores, aromas e formas. No contexto atual o pão apresenta-se sob numerosas variedades, que dependem das culturas de cereais, dos hábitos alimentares e preferências do consumidor (Canella-Rawls, 2003).

A farinha de trigo é a mais efetiva na elaboração de pães, já que contém todos os ingredientes essenciais para a obtenção de uma boa massa. O amido, que confere volume e textura, é fundamental para a fermentação e confere a cor dourada durante a cozedura. E o glúten, um complexo de proteínas potencialmente desenvolvido pela farinha de trigo, que permite a adequada expansão e crescimento do pão, já que retém o CO₂ produzido durante a fermentação (Canella-Rawls, 2003).

Um estudo recente que avaliou o consumo alimentar de indivíduos residentes na cidade do Porto no âmbito do projeto EPIPorto verificou que o pão é consumido diariamente por uma percentagem elevada de pessoas (95,7%), em especial o pão branco. Esse trabalho também referiu que a maior parte desses indivíduos tinha uma frequência de consumo de 1 a 3 pães/dia (Lopes, *et al.*, 2006).

O pão é um dos alimentos mais consumidos e, para muitas populações no mundo é um elemento fundamental na dieta alimentar. Segundo a legislação portuguesa, portaria n° 425/98, entende-se por pão, o produto obtido da amassadura, fermentação e cozedura das farinhas de trigo, centeio, triticale ou milho, estremes ou em mistura, em condições adequadas, água potável, fermento ou levedura, sendo ainda possível a utilização de sal e aditivos, bem como auxiliares tecnológicos, nas condições legalmente fixadas.

1.2.1 Principais passos do processo de fabrico do pão

A etapa inicial do fabrico do pão com farinha de trigo, envolve a mistura dos principais ingredientes até à sua conversão numa massa firme, e é seguida por um longo processo que compreende: amassadura, fermentação e, cozedura (Figura 4). Cada passo do processo deve ser minuciosamente controlado para se obter um produto final com as qualidades desejáveis.



Figura 4. Os três principais passos envolvidos no processo do fabrico do pão tradicional.

A amassadura é considerada o principal passo para a formação da espuma. Num primeiro momento esse processo promove a incorporação de ar na mistura dos ingredientes, a hidratação e a formação da rede de glúten. Uma amassadura eficiente é fator imprescindível para obter uma boa

massa já que influencia a viscoelasticidade, o grau de dispersão dos ingredientes, a incorporação de ar, entre outras características de qualidade (Canella-Rawls, 2003; Heller, 2009).

O passo seguinte à amassadura é a fermentação, onde ocorre o aumento de volume da espuma. Neste passo as células da levedura *Saccharomyces cerevisiae* consomem os açúcares livres provenientes do amido e vão produzir um álcool – etanol, um gás – o dióxido de carbono, e outros vários compostos. A rede de glúten é responsável pelo aprisionamento das bolhas de dióxido de carbono produzidas durante a fermentação, que promovem o crescimento da massa, dada a sua elasticidade (Figura 5). A temperatura de fermentação está relacionada com uma boa atividade da levedura, que tem o seu valor ótimo a cerca de 37°C. Em termos empíricos, a fermentação é considerada concluída quando a massa duplica de volume (Canella-Rawls, 2003; Heller, 2009).

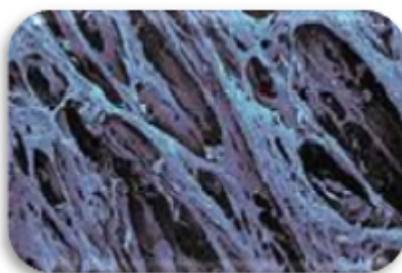


Figura 5. Estrutura do glúten (200x).

Fonte: http://www.kpk.gov.pl/centra_doskonalosci/coe/midi/data/505.html (2011).

Ao atingir o volume desejado, a massa é colocada no forno, *i.e.*, inicia-se o processo de cozedura. Num primeiro momento desta fase, verifica-se um aumento no volume da massa, isto porque ocorre um aumento da temperatura da massa, resultando numa maior atividade da levedura, e uma maior produção de gás. Quando a temperatura atinge os 60°C, ocorre a morte térmica das células de levedura, inicia-se a gelatinização do amido e a coagulação das proteínas. Toda essa sequência de acontecimentos promove a solidificação da espuma, fixando a estrutura do miolo, que perde a capacidade para reter o gás (Canella-Rawls, 2003; Heller, 2009).

1.3 Papel do glúten em produtos de panificação

As proteínas que, na farinha de trigo, dão origem à formação do glúten são normalmente divididas em duas frações aproximadamente iguais, de acordo com a sua solubilidade em solução álcool-água: a gliadina que é solúvel e a glutenina que é insolúvel (Figura 6). Ambas as frações proteicas são importantes para as propriedades reológicas das massas. As gliadinas são proteínas com uma estrutura de cadeia simples, com uma massa molecular que varia de 30.000 a 70.000, e quando hidratadas têm pouca elasticidade. Assim, contribuem principalmente para a viscosidade da massa. Em contraste, a fração glutenina é formada por agregados de proteínas, com uma alta massa molecular que varia de 100.000 a vários milhões e, quando hidratada, confere coesividade e elasticidade à massa. O trigo é o único cereal que tem ambas as frações proteicas em proporções

adequadas para formar o glúten em boa quantidade e com as características necessárias para o fabrico de massas de pão tradicionais, apesar de outros cereais como a cevada e o centeio também possuírem estas proteínas (Hoseney, 1990; Hunter, 1987; Lafiandra, *et al.*, 2004; Tedrus, *et al.*, 2001).

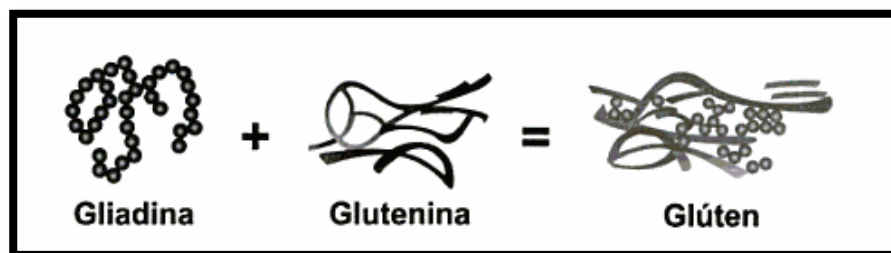


Figura 6. Esquema que ilustra a formação do glúten. Fonte: Araújo, *et al.*, 2009.

Quando a farinha de trigo (sólido) é misturada com a água (líquido), nas proporções certas, forma-se uma massa coesa e viscoelástica e com capacidade de retenção de gás. Deste modo, o mais correto é dizer que o glúten é um produto formado pela manipulação da farinha acrescida de água, e não como um constituinte natural da farinha. O glúten tem ainda a capacidade de absorver até 200% do seu peso em água (Heller, 2009; Lafiandra, *et al.*, 2004).

Na elaboração de pão à base de farinha de trigo, a propriedade elasticidade da massa, desenvolvida durante a amassadura e que se reflete nas etapas seguintes, resulta da fração proteica glutenina. O desenvolvimento da massa envolve a extensão das cadeias de glutenina durante a mistura, criando forças restauradoras elásticas. Quanto maior for a massa molecular das gluteninas, maior será a taxa de deformação necessária para estender as moléculas e, conseqüentemente maior é a contribuição elástica para a massa do pão (Heller, 2009; Lafiandra, *et al.*, 2004). Porém, só quando as frações gliadina e glutenina estão presentes juntamente é que se obtêm as propriedades adequadas para produtos levedados (Lafiandra, *et al.*, 2004).

1.4 Desenvolvimento de produtos de panificação isentos de glúten

Como já referido, a farinha é o ingrediente primordial para a produção de pães, sendo obtida de vários grãos de cereais moídos, como o trigo, cevada, centeio, aveia, milho e arroz. Contudo, todos os grãos podem ser moídos para fazer farinha, mas cada grão tem constituintes que os distinguem, conferindo texturas, paladares e propriedades físico-químicas diferentes quando introduzidas numa massa (Canella-Rawls, 2003).

Produtos de panificação isentos de glúten tem uma menor qualidade, em termos estruturais, pois este confere características de estrutura fundamentais, nomeadamente a aparência e os alvéolos do miolo nos produtos tradicionais de panificação (Gallagher, *et al.*, 2003). A substituição do glúten é um importante desafio tecnológico. Estruturalmente a massa de farinha de trigo levedada assemelha-se a uma espuma. Em contraste, a massa isenta de glúten é um sistema constituído de partículas de amido que formam a fase dispersa e água que constitui a fase líquida contínua. O resultado é uma massa com uma estrutura mais semelhante a um gel (Dobraszczyk, *et al.*, 2001).

Essas massas são capazes de fermentar e o amido durante a cozedura é gelatinizado, o que contribui para um certo grau de estruturação da massa. No entanto, a massa isenta de glúten tem pouca resistência, e não tendo a capacidade para reter o CO₂ produzido durante a fermentação, originando um produto final com volume inadequado e uma estrutura muito compacta (He e Hosney, 1991). Para ultrapassar este problema, uma vasta gama de hidrocolóides (goma xantana, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), alginato de sódio, carragenato, pectina, goma guar, carboximetilcelulose, entre outros) têm sido utilizados como aditivos no fabrico dos produtos de panificação isentos de glúten (Crockett, *et al.*, 2011, Rossell, *et al.*, 2001, Lazaridou, *et al.*, 2007, Sciarini, *et al.*, 2010).

Nos últimos anos tem aumentado o interesse pelos produtos de panificação isentos de glúten, e tem sido desenvolvida investigação relacionada com o fabrico de massas com outras farinhas de cereais (farinhas de arroz, milho, soja...) para uma base farinácea isenta de glúten, e envolvendo a incorporação de amidos, hidrocolóides e proteínas de forma a reproduzir as propriedades viscoelásticas do glúten (Koksel, 2009). Têm sido obtidos produtos de panificação isentos de glúten com uma estrutura aceitável e com melhor comportamento no que respeita ao endurecimento do miolo (Sciarini, *et al.*, 2010). Na literatura, contudo, a quantidade de estudos relacionados com os produtos de panificação isentos de glúten ainda é limitada.

1.4.1 Farinhas isentas de glúten

Farinhas de milho, arroz, soja, mandioca, batata, amido de milho, entre outras, vêm-se tornando uma ótima opção como substitutas da farinha de trigo no fabrico dos produtos de panificação isentos de glúten (Heller, 2009). No presente trabalho optou-se pela utilização de uma mistura das farinhas de arroz e milho. Em geral, são farinhas de baixo custo e amplamente disponível no mercado nacional.

Um estudo realizado em 2011 pela Associação Portuguesa dos Celíacos (APC) verificou que a maioria das farinhas de arroz, milho e mandioca à venda no mercado nacional não indicava na rotulagem informação relativa ao fato de conter ou não glúten na sua composição. Neste sentido, a APC mandou analisar algumas marcas de farinhas provenientes destes cereais que se encontram com maior facilidade nos hipermercados nacionais. Dos lotes analisados nenhum continha glúten.

Estas iniciativas são importantes e, permitem aos celíacos optarem com mais segurança pelas marcas nacionais em vez das marcas importadas, que acabam por elevar o custo final do fabrico caseiro dos produtos de panificação. Existem já algumas formulações de pães isentos de glúten disponíveis no mercado nacional, contudo, os custos das mesmas são proibitivos, se considerarmos que se trata de um bem de consumo essencial e cujas taxas de consumo são normalmente elevadas, como se verificaram nos estudos referidos anteriormente.

1.4.2 Farinha de milho

O milho atualmente é cultivado e consumido em todos os continentes e a sua produção só assume valores inferiores à do trigo e do arroz. Contudo, 70% de toda a produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, apenas 15% desta produção se destina ao consumo humano, direta ou indiretamente (Abmilho, 2011, Embrapa, 2006).

A farinha de milho é processada a partir do grão de milho seco. O milho é um dos alimentos mais nutritivos. Além das fibras, o grão de milho é constituído por hidratos de carbono, proteínas, vitaminas do complexo B, sais minerais (ferro, fósforo, potássio, cálcio), e lípidos. A farinha de milho tem uma composição média de 70% de hidratos de carbono, 10% de proteínas e 4,5% de lípidos. Os hidratos de carbono conferem ao milho a característica de alimento altamente energético, estando representados principalmente, por amido, açúcares e celulose. O endosperma corresponde à maior parte do grão de milho e é composto basicamente de amido (acima de 80%), organizado na forma de grânulos. No endosperma também estão presentes as proteínas de reserva do tipo prolaminas, denominadas zeínas. Nesta fração estão também presentes os carotenóides, substâncias lipídicas que conferem a cor do grão de milho. O gérmen representa 11% do grão de milho e concentra quase a totalidade dos lípidos e dos minerais do grão, além de conter quantidades expressivas de proteínas e açúcares. No gérmen também estão presentes as proteínas do tipo albuminas, globulinas e gluteninas. O pericarpo (casca) é constituído basicamente de polissacáridos do tipo hemicelulose e celulose (Abmilho, 2011; Embrapa, 2006).

Nas farinhas de milho, a principal proteína encontrada é a zeína que na massa confere uma baixa capacidade para reter o gás. A utilização desta farinha resulta num pão com miolo compacto, com poucos alvéolos, mas com um sabor muito característico (Araújo, *et al.*, 2009; He e Hosene, 1991).

Realizando uma simples experiência em que mistura-se um pouco de água com a farinha, até obter uma mistura homogênea, verifica-se que só se obtém uma massa bem formada e agregada com a farinha de trigo (massa viscoelástica). A massa com a farinha de milho não agrega, ou seja, a massa feita com a farinha de milho não tem elasticidade para manter o gás produzido durante a fermentação no seu interior, e o pão compacto (Figura 7).



Figura 7. Comparação de massas feitas com farinha de trigo e com farinha de milho.

Fonte: <http://www.cienciaviva.pt/projectos/pollen/paoebroa.pdf> (2012).

1.4.3 Farinha de arroz

O arroz é um alimento básico para mais da metade da população mundial, e a sua importância para a segurança alimentar nacional tem aumentado mesmo em países onde ele não é o alimento básico tradicional. Nalguns países desenvolvidos da Europa e da América do norte, o arroz é considerado um alimento saudável e o seu consumo é crescente (FAO, 2000). Atualmente, a maioria das variedades de arroz cultivadas pertencem à espécie, *Oryza sativa* L

Em média, o grão de arroz branqueado pode conter cerca de 80% de amido, 7,5% de proteínas, 0,5% de cinzas e 12% de água (FAO, 2000).

De acordo com a sua solubilidade, as proteínas do arroz podem ser classificadas em albuminas, solúveis em água; globulinas, solúveis em soluções salinas; prolaminas, solúveis em álcool; e gluteninas, solúveis em soluções ácidas ou básicas. A glutenina é a fração dominante, corresponde à maior parte da proteína total do arroz, cerca de 51%, seguida pela prolamina com 34%, globulina com 11%, e a albumina com 4% (Hamada,1997; Ju, *et al.*,2001).

A farinha de arroz é obtida do interior do grão do arroz, é uma farinha incolor, fina e sedosa, com propriedades únicas de sabor, nutricionais e hipoalergénicas. Por isto tem aumentado a sua utilização em alimentos para bebés, e também no desenvolvimento de alimentos para pessoas intolerantes ao glúten (Gujral e Rosell, 2004). Contudo, apresenta as mesmas limitações tecnológicas que a farinha de milho (He e Hosney, 1991).

1.5 Papel do amido em panificação

O amido é o principal componente das farinhas em geral, e em particular das de milho e de arroz. É constituído essencialmente por dois tipos de polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina (Figura 8). A amilose é uma molécula essencialmente linear, constituída por cerca de 1000 a 2000 unidades de glicose unidas por ligações glicosídeas α (1 \rightarrow 4). A amilopectina é uma molécula altamente ramificada, formada por 100 000 a 1 000 000 unidades de glicose unidas por ligações glicosídeas α (1 \rightarrow 4), os pontos de ramificações são formados a cada 20 a 25 unidades de glicose através de ligações α (1 \rightarrow 6). As moléculas de amilose e amilopectina ligam-se fortemente umas às outras, através ligações de hidrogénio, e encontram-se sob a forma de grânulos (Williams, 2007; Coultate,2002).

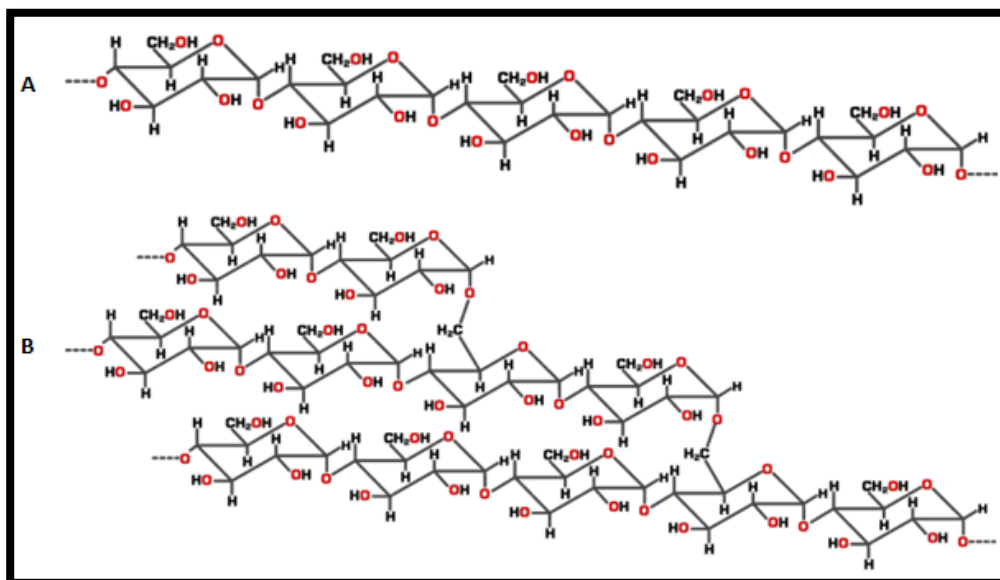


Figura 8. Estrutura molecular dos polímeros de glicose: A- amilose e B- amilopectina.

Fonte: Adaptado de Coultate, 2002.

A estrutura cristalina do grânulo de amido é atribuída à presença de moléculas de amilopectina, que se arranjam em círculos concêntricos. Estes consistem de áreas duras cristalinas orientadas radialmente e regiões amorfas (Figura 9). Os grânulos de amido, pelo fato de serem estruturas bastante organizadas, possuem capacidade limitada de absorver a água fria. O aquecimento na presença de água provoca a quebra das ligações de hidrogénio, tornando mais fracas as ligações entre os polímeros de amilose e amilopectina. O arranjo molecular antes organizado, fragiliza-se, e os grânulos começam a hidratar e formar soluções viscosas. A este processo denomina-se gelatinização do amido (Figura 10). A temperatura a que ocorre a ruptura dos grânulos é muito característico da fonte do amido e esta é referida como a temperatura de gelatinização, podendo variar entre os 60°C e os 70°C (Williams, 2007; Coultate, 2002).

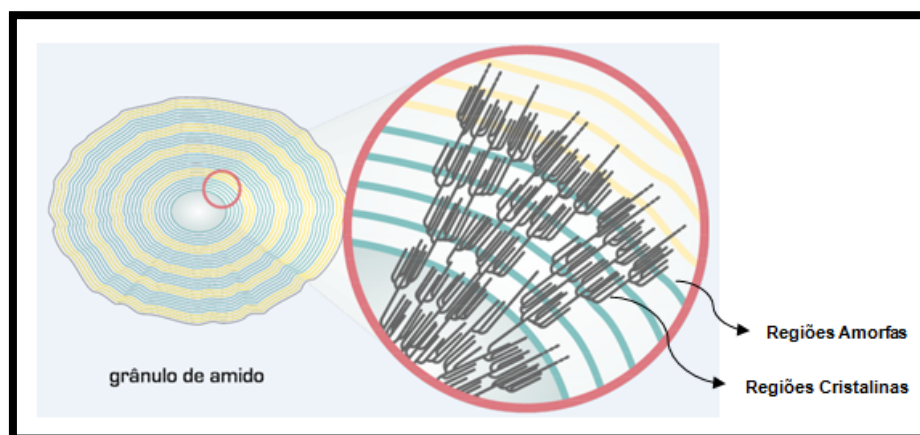


Figura 9. Representação esquemática de um grânulo de amido. *Fonte: Adaptado de Guerreiro e Mata, 2010.*

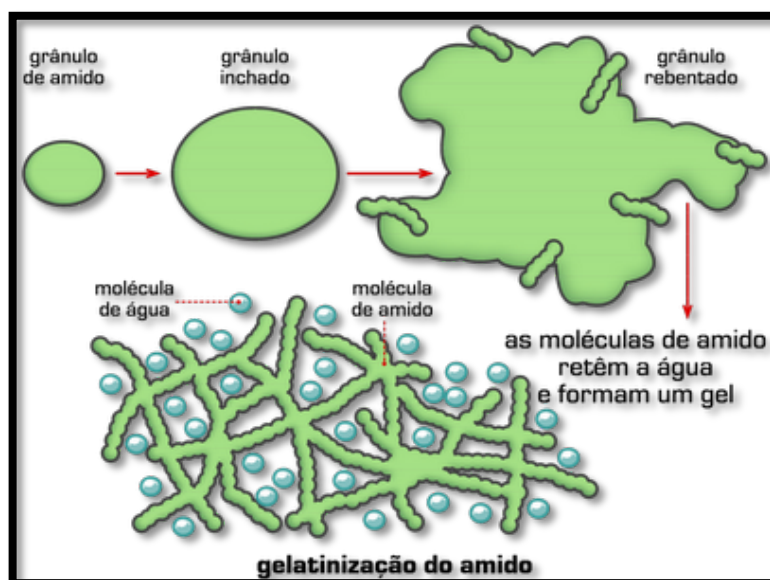


Figura 10. Processo de Gelatinização do Amido. Fonte: Guerreiro e Mata, 2010.

Nos pães e em outros produtos de panificação é muito importante compreender o comportamento do amido. Quando a farinha é moída, inevitavelmente uma proporção significativa de grânulos de amido é fisicamente danificada, rachada ou quebrada. Quando a massa é primeiramente misturada, esses grânulos de amido absorvem alguma água. Durante o fabrico do pão os estágios de amassadura e fermentação anteriores à cozedura dão tempo para que as α e β - amílases, que estão presentes naturalmente na farinha, transformem uma pequena proporção do amido em maltose e outros açúcares. Estes são fermentados pelas leveduras que produzem CO_2 na massa. Uma vez no forno os grânulos de amido gelatinizam e sofrem graus variados de disrupção e dispersão (Coultate, 2002).

Durante o arrefecimento, as moléculas de amilose auto associam-se (este processo ocorre num espaço de tempo que vai de minutos a horas), um processo denominado como retrogradação do amido, e é formado um gel. A retrogradação do amido é o fenómeno responsável pelo endurecimento de pães, bolos, pudins e inúmeros outros produtos à base de amido. Este processo de endurecimento ocorre em duas fases, a primeira fase é marcada pela transição do estado do “pão novo” macio, que acontece poucas horas após a cozedura, e é consequência do fato das moléculas de amilose serem cadeias lineares e terem tendência a voltar a ligar-se entre si, através das ligações de hidrogénio, cristalizando. Numa escala de tempo mais longa (várias horas) as cadeias de amilopectina também começam a auto associar-se, tal caracteriza a segunda fase do endurecimento. A retrogradação do amido confere ao miolo do “pão seco” a sua brancura extra e o aumento de rigidez e falta de elasticidade na textura do miolo (Williams, 2007; Coultate, 2002).

1.6 Hidrocolóides

Os hidrocolóides são, maioritariamente, polissacáridos obtidos de fontes naturais ou sintéticos, embora alguns deles sejam proteínas, que assumem uma grande importância em vários setores de atividade, e particularmente na indústria alimentar, devido à sua funcionalidade tecnológica (Quadro 3). A grande maioria das aplicações de hidrocolóides na indústria alimentar está associada à sua capacidade hidrofílica, ou seja, interação significativamente com a água que se encontra livre no meio onde se aplicam, reduzindo a sua mobilidade e aumentando assim a viscosidade das soluções (Miller e Hoskeney, 1993; Morris, 1990).

Os hidrocolóides são amplamente utilizados como estabilizantes de emulsões, agentes de absorção de água, espessantes e gelificantes. Geralmente, são usados em pequenas concentrações e, em geral, não contribuem para o sabor, aroma ou valor nutricional dos alimentos (Cubero, *et al.*, 2002; Phillips e Williams, 2000; Imenson, 2010).

Os polissacáridos botânicos são considerados o grupo mais diverso, entre eles a goma guar, goma de alfarroba, goma tara e a goma cassia. No entanto, embora em menor número, polissacáridos microbianos têm sido amplamente usados industrialmente, é o caso da goma xantana, considerado um agente espessante muito eficaz, além de interagir sinergicamente com as galactomananas, como a goma guar (Williams, 2007).

Quadro 3. Principais hidrocolóides comercializados

Principais Hidrocolóides e a sua origem
Extraídos de plantas terrestres Celulose e derivados (estrutural) Pectinas (estrutural) Amido e derivados (reserva) Goma arábica (exsudado) Goma de semente de alfarroba (sementes) Goma guar (sementes) Tara (sementes) Konjac (tubérculos)
Extraídos de algas Ágar Carragenato Alginatos
Microbiana Xantana Gelano
Animal Gelatina Proteínas dos ovos Caseína

Fonte: Adaptado de Phillips e Williams, 2000.

Em geral, a escolha de um hidrocolóide é feita em função das características desejadas no produto final, mas é também influenciada pelo fator custo e regularidade no fornecimento (Phillips e Williams, 2000). O Quadro 4 reúne os principais hidrocolóides que desempenham função espessante e/ou gelificante, bem como um valor indicativo do seu custo.

Quadro 4. Principais hidrocolóides com função espessante e/ou gelificante.

Hidrocolóides	Principal função	Custo Euro/Kg em 2012*
Carragenato	Espessante e gelificantes	44,61€
Metilcelulose	Espessante, gelificante e emulsificante	71,64€ - 201€
Goma Guar	Espessante	16,14 €
Goma Alfarroba	Espessante	182,75€
Goma Xantana	Espessante	39,50 € - 40,42€

* A amplitude da variação de preço é em função da marca comercializada, sem aplicação do IVA (imposto sobre o valor acrescentado).

Considerando que um dos principais objetivos deste trabalho é produzir uma formulação de pão que possa ser feita em casa, a um baixo custo e que permita aos doentes celíacos consumirem o pão de uma forma regular sem os elevados custos que estão normalmente associados a este tipo de produto, optou-se pela utilização dos hidrocolóides, goma xantana e goma guar, de custos mais acessíveis. Além da disponibilidade atual destes hidrocolóides em lojas nacionais.

Os hidrocolóides alimentares não existem como uma categoria regulamentada de direito próprio, atualmente a grande maioria dos hidrocolóides é regulamentada como aditivos alimentares, com exceção da gelatina (Williams, 2007).

A EFSA (European Food Safety Authority) define aditivos alimentares como “substâncias adicionadas intencionalmente aos alimentos para melhorar determinadas funções tecnológicas, como a cor, sabor, textura e a conservação dos alimentos” (EFSA, 2012). Segundo a legislação europeia, os aditivos alimentares antes de serem utilizados em alimentos devem ser analisados e autorizados pela EFSA. Todos os aditivos autorizados também têm de cumprir critérios de pureza estabelecidos (EFSA,2012).

Na comunidade europeia todos os aditivos alimentares são identificados pela letra E associada a um número de 3 ou 4 algarismos. Os rótulos alimentares tem de identificar tanto a função do aditivo no produto acabado (por exemplo, cor, conservante, etc.) como a substância específica utilizada quer referindo a letra E apropriada (tal como E412) ou o nome do aditivo (EFSA,2012).

1.6.1 Aplicação dos hidrocolóides em produtos de panificação

Nos últimos anos a utilização de hidrocolóides pela indústria alimentar tem aumentado. Mesmo que frequentemente presentes numa concentração inferior a 1%, podem ter uma influência significativa na textura e propriedades sensoriais dos produtos alimentares (Phillips e Williams, 2000). Em geral, os estudos com hidrocolóides para obtenção de produtos isentos de glúten utilizam concentrações que variam de 1 a 5% (base farinácea) e os melhores resultados obtidos em termos de volume e textura foram encontrados com concentrações de 0,5% a 2% (Crockett, *et al.*, 2011; Tubari, *et al.*, 2008; Preichardt *et al.*, 2011; Rosell, *et al.*, 2001; Gallagher, *et al.*, 2004).

Como já referido, os hidrocolóides são capazes de melhorar a textura dos alimentos e, no caso do pão, contribuem nomeadamente para aumentar a retenção de CO₂ e melhorar o volume devido às propriedades viscoelásticas que conferem às massas, melhorar a retenção de humidade, devido à sua capacidade hidrofílica, e retardar a retrogradação do amido, e assim melhorar o comportamento de endurecimento do miolo. Contudo, estas funcionalidades são afetadas por vários fatores, como a natureza química do hidrocolóide, temperatura, pH, concentração, tamanho da molécula (Phillips e Williams, 2000).

Investigadores estudaram o efeito da adição de 0,5% m/m (base farinácea) de diferentes hidrocolóides (alginato de sódio, k-carragenato, goma xantana e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)) nas propriedades reológicas da massa de farinha de trigo e a qualidade final do pão. Neste estudo observou-se que a firmeza do miolo aumentou com a adição de goma xantana, de acordo com o autor este resultado pode ser explicado pelo efeito fortalecedor deste hidrocolóide sobre a estrutura da massa. Neste estudo a firmeza do miolo foi determinada através do teste de compressão (Rosell, *et al.*, 2001).

O efeito de diferentes concentrações de goma guar (0,25%, 0,5%, 0,75% e 1%, base farinácea) sobre as propriedades físico-químicas do pão formulado com farinha de trigo foi estudado por Rodge, *et al.*, 2012 e verificou-se que a adição de goma guar reduziu a firmeza do miolo.

Outro estudo investigou o efeito de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e goma xantana em diferentes concentrações (2%, 3% e 5% m/m, com base no peso final da massa) em massas com uma mistura de farinha de arroz e amido de mandioca. Neste estudo não se verificou nenhuma melhoria na textura final dos pães, resultante da adição das gomas. A firmeza e a elasticidade do miolo foram determinados através do teste de perfil de textura (TPA) (Crockett, *et al.*, 2011). Estes resultados podem estar relacionados com a utilização dos hidrocolóides em elevadas concentrações.

Investigadores que estudaram o efeito da adição de 1% e 2% m/m (base farinácea) de diferentes hidrocolóides (pectina, CMC, agarose, xantana e β -glucano de aveia) nos parâmetros de qualidade do pão isento de glúten formulados com farinha de arroz e amido de milho, verificaram que adição de goma xantana na proporção de 1% não alterou o volume do pão, no entanto, na proporção de 2% originou uma diminuição do mesmo. A firmeza do miolo foi significativamente maior em relação a formulação controle isenta de glúten quando a goma xantana foi adicionada na duas concentrações. O miolo do pão suplementado com goma xantana exibiu o maior aumento da firmeza

durante o período de armazenamento (após 1 e 3 dias), evidenciado pelo aumento dos valores da firmeza ($P < 0.05$) com o aumento do tempo de armazenamento. A firmeza do miolo foi determinado através do teste de compressão (Lazaridou, *et al*, 2007).

Outro estudo (Koksel, 2009) avaliou o efeito das gomas xantana e guar isoladas ou associadas em diferentes concentrações (0,3%, 0,6% e 1% m/m, base farinácea) na qualidade final do bolo isento de glúten à base de farinha de arroz. Verificou-se que o maior valor de firmeza do miolo foi observado para o bolo com 1% (m/m) de goma guar. De acordo com este autor, o miolo pode ser percebido como mais macio com concentrações de gomas suficientemente baixas, e também como duro com concentrações elevadas das gomas. Esta afirmação pode explicar porque os bolos contendo 1% (m/m) de goma guar apresentaram-se mais firmes do que os bolos com adição de 0,3% (m/m) de goma guar. A firmeza do miolo foi determinada através do teste de perfil de textura (TPA). Diante destes resultados, pode-se afirmar que existirá uma faixa de concentrações dos hidrocolóides na qual se consegue melhorar as características viscoelásticas das massas, mas acima da qual poderá contribuir negativamente para a textura final do produto. Concluíram que os valores mais baixos para a firmeza do miolo foram obtidos para as formulações contendo a mistura das gomas em proporções iguais (0,5%xantana+ 0,5%guar, base farinácea) e para a goma xantana em todas as concentrações. Além disso, o bolo feito com a mistura das gomas obteve maior volume específico (Koksel, 2009). De acordo com este autor, as gomas xantana e guar podem funcionar eficientemente a níveis baixos, sendo uma mistura rentável.

Um estudo realizado por Sciarini, *et al.*, 2010 avaliou o efeito de diferentes hidrocolóides (carragenato, alginato, xantana, carboximetilcelulose e gelatina) na qualidade final dos pães à base de farinhas de milho, arroz e soja. A concentração dos hidrocolóides utilizados foi de 0,5%, contudo não ficou clarificada se esta concentração utilizada foi baseada no peso final da massa ou total da farinha. Verificou-se que a firmeza do miolo foi reduzida pela adição de goma xantana e carboximetilcelulose, e a taxa de endurecimento do pão foi mais lenta. A firmeza do miolo foi determinada através do teste de perfil de textura (TPA). Outro ensaio verificou o efeito de hidrocolóides (alginato de sódio, xantana, k-carragenato e hidroxipropilmetilcelulose) sobre a qualidade do pão fresco e a sua influência no endurecimento do pão. Os hidrocolóides foram adicionados em diferentes concentrações 0,1% e 0,5% (m/m) (base farinácea). Concluíram que todos os hidrocolóides contribuíram para reduzir a perda do conteúdo de humidade durante o armazenamento do pão, reduzindo a taxa de desidratação do miolo. No entanto, no pão com adição de xantana verificou-se o maior aumento da firmeza do miolo após 24hs de armazenamento. A firmeza do miolo foi determinada através do teste de perfil de textura (TPA) (Guarda, *et al.*, 2004).

Os diferentes resultados observados podem ter sido influenciados não só pela concentração total dos hidrocolóides adicionados, mas também se a quantidade adicionada foi calculada com base no peso final da massa ou total da farinha. Pode concluir-se que a aplicação de hidrocolóides em produtos de panificação com ou isentos de glúten melhorou significativamente as propriedades de textura da massa do pão e do pão. Os hidrocolóides foram utilizados isoladamente ou em combinação, tirando-se partido do efeito sinérgico. Em geral, cada hidrocolóide afetou as propriedades reológicas das massa e a qualidade final do pão de forma diferente.

No presente trabalho, e com base na informação da literatura, optou-se, com o objetivo de produzir uma formulação para produção doméstica de pão sem glúten, pela utilização dos agentes espessantes, goma xantana e goma guar, procurando tirar partido do efeito sinérgico destes hidrocolóides descrito na literatura (Phillips e Williams, 2000). Decidiu-se estudar misturas das gomas com diferentes proporções (100%xantana, 75%xantana+25%guar, 50%xantana+50%guar, 75%guar+25%xantana e 100%guar). Em consequência das conclusões referidas acima relativamente ao efeito da goma xantana em diferentes concentrações, no presente trabalho optou-se por concentrações nunca superior a 1% (m/m) de modo a não promover uma estrutura gelificada que dificultasse a expansão da massa. Decidiu-se iniciar os estudos com uma percentagem de 1% (m/m) e posteriormente avaliar o efeito da redução desta concentração para 0,5% (m/m).

1.6.2 Goma Xantana

A goma xantana é um aditivo alimentar identificado como INS 415 ou E-415, e como tal pode ser utilizado numa variedade de alimentos como espessante, estabilizante, emulsionante e espumante (FAO/WHO,2012).

A goma xantana é um polissacárido extracelular secretado pela bactéria *Xanthomonas campestris* na superfície da parede celular durante o seu ciclo de vida normal. Na natureza estas bactérias encontram-se nas folhas dos vegetais *Brassica*, como o repolho. Comercialmente, a goma xantana é produzida via fermentação aeróbica, num meio contendo glicose, uma fonte de azoto e vários elementos traço. No final da fermentação o caldo é pasteurizado para matar a bactéria e a goma xantana é recuperada pela precipitação com álcool isopropílico. Finalmente, o produto é moído, seco e embalado (Phillips e Williams, 2000; Rochefort e Middleman,1987).

Quantidades comerciais de goma xantana foram inicialmente produzidas pela empresa Kelco em 1961. Porém, o seu uso em alimentos só foi aprovado pelo FDA (Food and Drug Administration) em 1969. A goma xantana é amplamente utilizada como um espessante e estabilizante, e em certas formulações associada com outros hidrocolóides, como a goma de alfarroba, atua como gelificante (Morris, 1990).

1.6.2.1 Estrutura da goma xantana

No que diz respeito à estrutura química, a goma xantana é um heteropolissacarído constituída por uma cadeia principal linear de β -(1 \rightarrow 4)-D-glucopirranose com ramificações trissacarídicas em carbonos alterados de (3 \rightarrow 1)- α -D-manopirranose - (2 \rightarrow 1)- β -D-ácido glucurónico - (4 \rightarrow 1)- β -D-manopirranose (Figura 11). Cerca de 40% dos resíduos de manose terminais estão ligados a uma molécula de ácido pirúvico pelas posições 4 e 6 a manose ligada à cadeia principal está frequentemente acetilada na posição 6. Desta estrutura, resulta uma cadeia rígida (Morris, 1990; Williams, 2007).

Estudos de difração de raios-x mostraram que as cadeias laterais trissacarídicas estão alinhadas com a estrutura principal e estabilizam a conformação geral por interações não covalentes,

principalmente ligações de hidrogénio. Quando em solução as cadeias laterais envolvem-se em torno da estrutura principal protegendo assim as ligações β - (1 \rightarrow 4). Pensa-se que esta proteção é responsável pela estabilidade da goma sob condições adversas (Phillips e Williams, 2000).

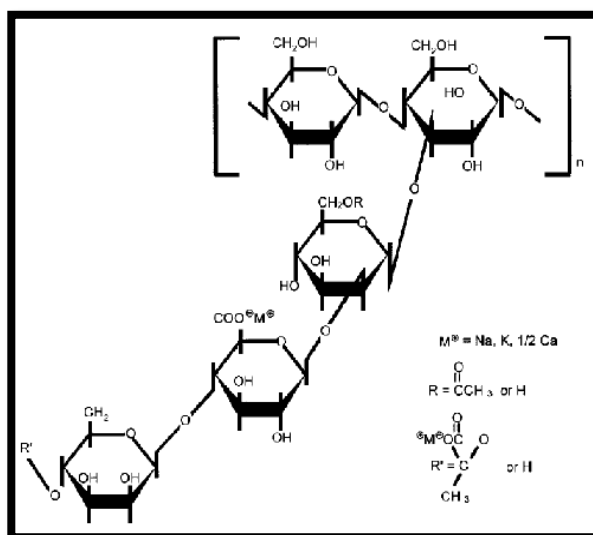


Figura 11. Estrutura primária da Goma Xantana.

Fonte: Phillips e Williams, 2000.

1.6.2.2 Propriedades funcionais

A goma xantana, desde a sua introdução no início de 1970, tornou-se o espessante de escolha em várias aplicações apesar do seu alto preço em comparação ao amido. Isto porque a goma xantana apresenta um comportamento reológico único. Apresenta alta viscosidade em baixas concentrações, e tem uma excelente estabilidade numa ampla faixa de temperatura e pH. Além de ser compatível com muitos sais e ácidos presentes em alimentos (Phillips e Williams, 2000).

O conhecimento atual da estrutura e conformação da goma xantana explica muito das suas propriedades únicas quando em solução. As soluções de goma xantana apresentam um comportamento altamente reofluidificante, ou seja, quando a taxa de deformação é aumentada, a viscosidade é reduzida progressivamente. Contudo, logo após a remoção da deformação, a viscosidade inicial é recuperada quase que instantaneamente. Este comportamento resulta da capacidade das moléculas de goma xantana, em solução, formarem agregados através de ligações de hidrogénio e entrelaçamento do polímero. Esta rede entrelaçada altamente ordenada resulta das moléculas serem rígidas, e em termos práticos, explica a excelente propriedade de suspensão das soluções de goma xantana (Phillips e Williams, 2000; Rochefort e Middleman, 1987). O Quadro 5 mostra as principais propriedades da goma xantana.

Quadro 5. Principais propriedades da goma xantana

- Alta viscosidade em baixas taxas de deformação
- Capacidade reofluidificante
- Viscosidade estável em uma ampla faixa de pH e temperatura
- Manutenção da viscosidade na presença de sais
- Resistência a degradação enzimática
- Aumento sinérgico da viscosidade com a goma guar

Fonte: Adaptado de Sanderson, 1992.

As soluções de goma xantana a 1% ou concentrações maiores quando em repouso assemelham-se a um gel, contudo estas mesmas soluções derramam facilmente. Com baixas taxas de deformação, as soluções de goma xantana têm aproximadamente 15 vezes mais viscosidade do que a goma guar e significativamente mais viscosidade do que a carboximetilcelulose (CMC) ou alginato de sódio (Phillips e Williams, 2000). Esta importante propriedade da goma xantana é a responsável pelo seu desempenho superior na estabilização de suspensões, por exemplo em molhos para saladas. Este aumento da viscosidade da goma xantana, mesmo a baixas concentrações, em comparação com outras soluções de hidrocolóides (0,5% de concentração) está ilustrado na Figura 12, com um gráfico do comportamento das soluções quando são submetidas a diversas taxas de deformação, sendo estas relacionadas com processos específicos.

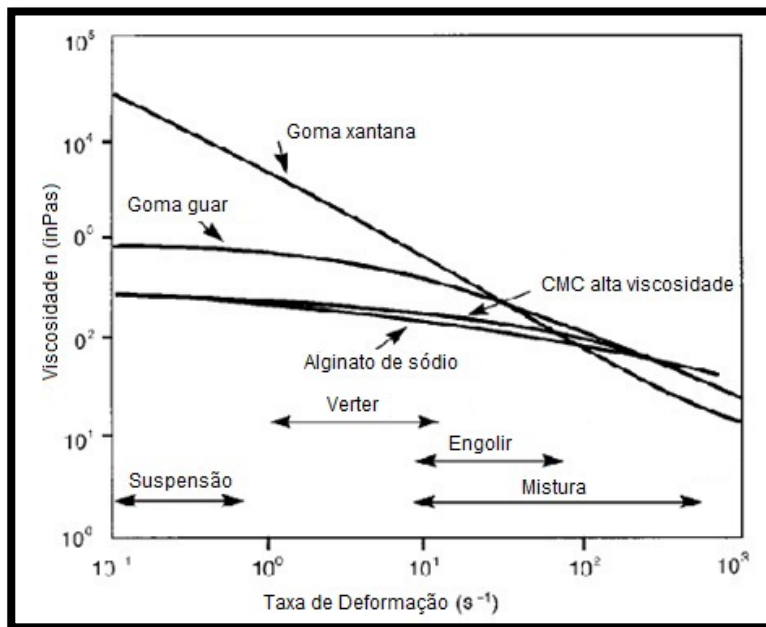


Figura 12. Comparação da viscosidade da goma xantana e outras soluções de hidrocolóides (0,5% de concentração) quando submetidas a diversas taxas de deformação e equivalência destas com processos específicos. Fonte: Adaptado de Phillips e Williams, 2000.

1.6.2.3 Efeito de sais, pH e temperatura na viscosidade da solução

Sendo a goma xantana um polieletrólito, a reologia da solução e a configuração molecular são amplamente afetadas pela força iônica da solução. Para desenvolver melhor as propriedades reológicas da goma xantana, deve estar presente algum tipo de sal; usualmente os sais presentes naturalmente na água da torneira são suficientes para gerar estes efeitos. Concentrações de sais superiores a 1-2% na água podem retardar a hidratação da goma xantana e, portanto, recomenda-se hidratar a goma na ausência de excesso de sal. Uma vez hidratada, pode adicionar-se sal sem efeitos adversos (Phillips e Williams,2000; Rochefort e Middleman,1987).

Geralmente o pH tem pouco efeito sobre a viscosidade de soluções de goma xantana. Mantém-se a viscosidade uniforme e elevada numa ampla faixa de pH, 2-12, com algumas reduções em valores de pH extremos. A taxa de hidratação, no entanto, é superior quando a goma xantana é dissolvida em água antes de adicionar o elemento ácido ou alcalino. Na presença da maioria dos ácidos orgânicos, a estabilidade é excelente. Em temperaturas elevadas, porém, a hidrólise ácida dos polissacáridos é acelerada e como consequência ocorre uma redução da viscosidade (Phillips e Williams,2000).

As soluções de goma xantana têm uma capacidade única de manter a sua viscosidade até que seja atingida uma temperatura de fusão definitiva. A esta temperatura, a viscosidade diminui drasticamente devido a uma mudança de conformação molecular reversível (Phillips e Williams,2000;Rochefort e Middleman,1987).

1.6.2.4 Utilizações da goma xantana na indústria alimentar

A seleção de hidrocolóides para uso em sistemas alimentares é na maioria das vezes ditada pelas suas características funcionais. A goma xantana, desde a sua introdução no início de 1970, tornou-se o espessante de escolha em muitas aplicações apesar do seu elevado preço, devido ao seu comportamento reológico quando em solução. Abaixo segue um resumo das várias aplicações da goma xantana, isoladamente ou em misturas com outros hidrocolóides, em sistemas alimentares:

1. A goma xantana é compatível com enzimas comumente encontradas em sistemas alimentares, tais como proteases, celulasas, pectinases e amilases. Estas não degradam a molécula da xantana. Pensa-se que esta resistência à degradação enzimática é devido ao arranjo das cadeias laterais ligadas à estrutura primária. Na prática a resistência enzimática da goma xantana é explorada em diversos sistemas alimentares tais como produtos com abacaxi, a base de amido, misturas de especiarias e muitos outros produtos com enzimas ativas (Phillips e Williams,2000)
2. Devido à sua estabilidade relativamente a ácidos e sais, eficácia em baixas concentrações e reologia reofluidificante, a goma xantana é um dos hidrocolóides mais amplamente utilizados para molhos para saladas. Este é sem dúvida a maior aplicação da xantana na indústria alimentar. Os molhos com adição de xantana têm uma excelente estabilidade a longo prazo e uma viscosidade relativamente constante numa ampla faixa de temperatura. Os molhos derramam facilmente da embalagem, mas aderem bem à salada. Confere textura aos molhos

com pouco óleo, efeito suspensor. O nível de utilização é tipicamente entre 0,2-0,4% de xantana, dependendo do teor de óleo (Phillips e Williams, 2000).

3. O uso de xantana em massas reduz a sedimentação da farinha, aumenta a retenção de gás, dá estabilidade e permite um revestimento uniforme e uma maior aderência. Por isso, a xantana é usada para melhorar a adesão das massas que revestem os anéis de cebola, que tem a aderência dificultada pelo revestimento de cera. A goma xantana pode ser usada em massas para produtos congelados tais como frango, camarão ou peixe (Phillips e Williams, 2000).
4. O uso da xantana na panificação contribui para aumentar a suavidade, retenção e incorporação do ar (volume) em massas de bolos e misturas de pão. Melhora a textura, volume e retenção da humidade dos produtos em geral e em particular do pão isento de glúten. O controle da humidade é essencial em todas as fases de produção de um bolo ou pão, a má hidratação dos ingredientes secos resulta em massas não uniformes, o que resulta numa estrutura frágil e colapso durante ou após a cozedura. A goma xantana misturada aos ingredientes secos da massa, hidrata rapidamente e uniformemente para evitar a formação de grumos durante a etapa inicial da mistura. Esta hidratação ajuda na distribuição uniforme da humidade da massa, que por sua vez ajuda a estabilizar as bolhas de ar formadas durante o processo da mistura. Nos recheios das tartes confere melhor resistência à congelação, melhora a textura e a libertação do sabor (Phillips e Williams, 2000).
5. O uso da xantana em xaropes e coberturas facilita o vazamento e a aderência ao gelado, frutas e panquecas. Sob refrigeração mantém a consistência. Mantém partículas de cacau em pó em suspensão nos xaropes de chocolate (Phillips e Williams, 2000).
6. Goma xantana misturada com carragenato e galactomananas são excelentes estabilizantes para uma gama de produtos lácteos, como gelados, natas ácidas e natas para bater. Nas misturas secas para bebidas, a goma xantana melhora a viscosidade da bebida reconstituída. Além disso, tem efeito suspensor da polpa de frutos, melhorando a textura e aparência do produto (Phillips e Williams, 2000).
7. A adição de goma xantana a uma variedade de produtos congelados confere estabilidade e controle da sinérese durante os ciclos de congelamento-descongelamento e aquecimento (Phillips e Williams, 2000).

1.6.3 Galactomananas

As galactomananas são polissacáridos de armazenamento da parede celular de várias sementes albuminosas ou endospermicas. O endosperma dessas sementes desenvolve-se juntamente com o embrião ou germe e envolve-o completamente. O endosperma das sementes contém muita pouca celulose e nenhuma linhina. São usadas em particular as galactomananas das sementes da alfarrobeira (*Ceratonia siliqua*), da planta guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) e em menor extensão do arbusto tara (*Cesalpinia spinosa*) (Phillips e Williams, 2000).

1.6.3.1 Estrutura das galactomananas

As galactomananas destas três fontes são compostas inteiramente por uma estrutura principal linear de unidades de D – manopirranose unidas por ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 4) contendo resíduos de D – galactose ligados à cadeia principal por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 6). A presença das cadeias de galactose impede a forte coesão da estrutura principal de modo que não pode ser formada nenhuma região cristalina extensa. A água à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas penetra facilmente entre as moléculas para as hidratar ou dissolver a goma (Phillips e Williams, 2000). A Figura 13 mostra a estrutura química comum das diferentes galactomananas: goma guar, goma tara e goma de alfarroba.

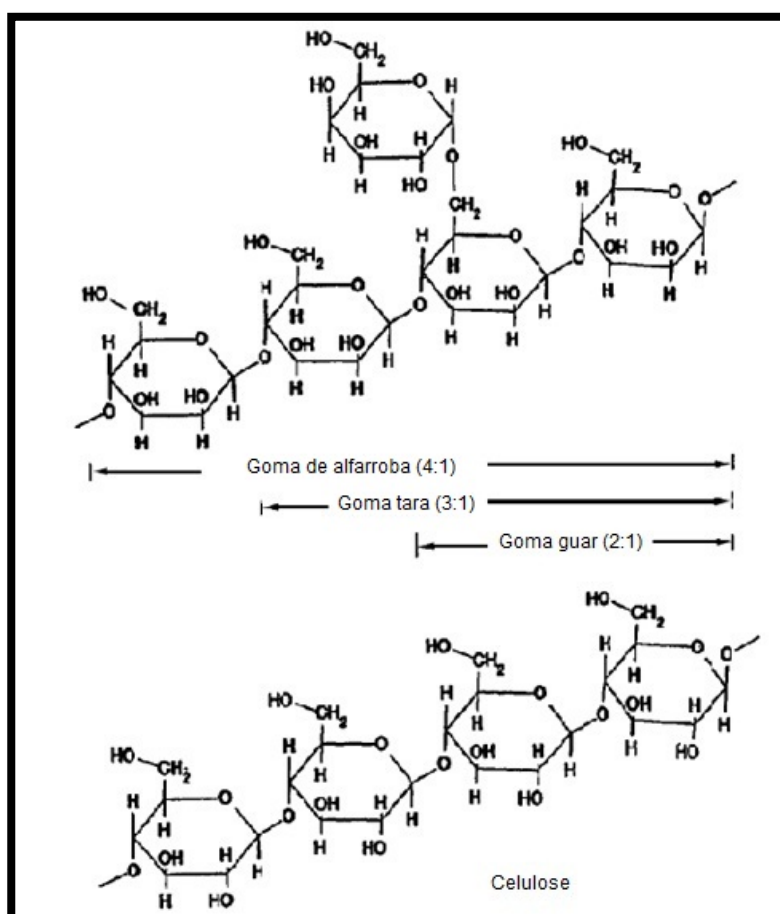


Figura 13. Fragmento estrutural básico da goma de alfarroba, goma tara, guar e celulose.

Fonte: Adaptado de Phillips e Williams, 2000.

1.6.3.2 Propriedades funcionais

A funcionalidade das galactomananas deve-se principalmente à sua capacidade de alterar a reologia de sistemas aquosos. Os três tipos referidos são agentes espessantes muito eficientes, se dissolvidos em água, e são capazes de interagir com outros hidrocolóides, nomeadamente agar,

carragenatos e goma xantana para formar ou para fortalecer estruturas tridimensionais. Estes agentes espessantes e gelificantes são amplamente utilizados em produtos alimentares, principalmente para os tornar mais atraentes para o consumidor e para melhorar a sua vida útil através da ligação com a água, controlar a textura, evitar sinérese, e impedir a retrogradação do amido (Phillips e Williams, 2000).

1.6.4 Goma Guar

A goma guar, INS 412 ou E-412, também referida como farinha de guar ou goma *Cyamopsis*, é comumente utilizada nos alimentos como emulsionante, estabilizante e espessante (FAO/WHO, 2012).

A goma guar, é obtida do endosperma das sementes da planta guar *Cyamopsis tetragonoloba* L. Esta planta cresce principalmente na Índia e Paquistão, e pertence à família das leguminosas. A palavra guar vem da palavra sânscrita “Gau-ahar”, “Gau” significa vaca e “ahar” significa alimento (Phillips e Williams, 2000).

1.6.4.1 Estrutura da goma guar

O seu peso molecular varia entre 250 000 a 2 milhões. Aproximadamente 85% da goma guar é guarana, um polissacárido solúvel em água, cuja estrutura consiste, como já referimos para a galactomananas em geral, de cadeias lineares de D-manose ligadas entre si por ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 4) às quais estão ligadas unidades de D-galactose por ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 6) (Figura 14). No caso da goma guar a razão de galactose para manose é de 1:2 (Chawla e Patil, 2010).

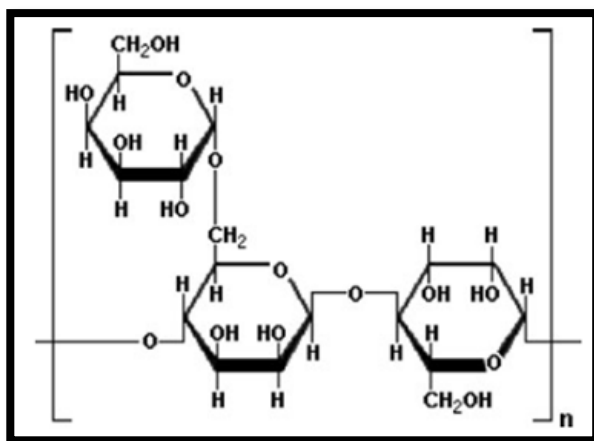


Figura 14. Estrutura química da Goma Guar. Fonte: Chawla e Patil, 2010.

1.6.4.2 Propriedades funcionais

Os resíduos de galactose dificultam a aproximação das cadeias e impedem uma coesão forte, permitindo assim que a água penetre entre elas e hidrate a goma (Figura 15). Como consequência de

sua elevada afinidade para com a água, a goma guar proporciona uma altíssima viscosidade em sistemas aquosos ou láticos, inclusive em doses baixas, apresentando um comportamento reofluidificante (Cubero, *et al.*,2002). O conteúdo de unidades de galactose da goma guar varia de 33-40% em peso, sendo a goma solúvel em água a 25°C. Se as unidades de galactose são removidas enzimaticamente para menos de 12% em peso, o produto final torna-se insolúvel até mesmo em água quente (Phillips e Williams,2000).

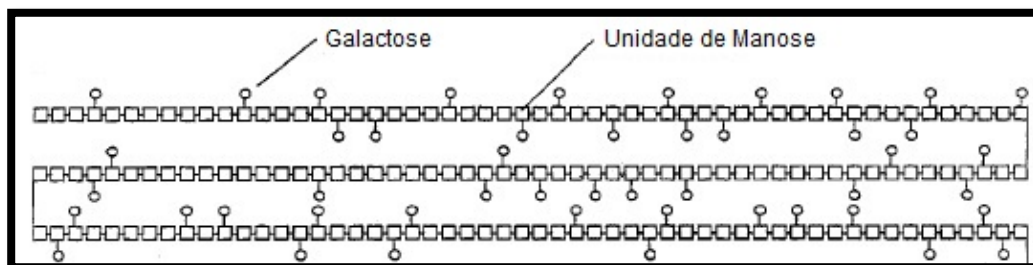


Figura 15. Esquema que ilustra resíduos de galactose de uma molécula de galactomanana.

Fonte: Adaptado de Phillips e Williams, 2000.

A goma guar é usada principalmente como agente espessante, com 5 a 8 vezes o poder espessante do amido. Pode ser usada numa ampla gama de produtos, já que permanece estável numa faixa de pH entre 3-11. O único fator limitante é o “*off-flavor*”, ou seja, o sabor residual que confere aos produtos. Contudo, apresenta a vantagem de ser solúvel a frio mas, quando aquecida, se os tratamentos térmicos são fortes, perde em parte sua viscosidade. É pouco sensível aos efeitos mecânicos e tem boa resistência aos ciclos de congelamento-descongelamento. Apresenta boa estabilidade quando os produtos são armazenados à temperatura ambiente (Phillips e Williams, 2000; Cubero, *et al.*,2002; Chawla e Patil,2010).

Pode-se utilizar o pó de goma guar como emulsionante, com função espessante quando adicionado em molhos, e para evitar a formação de cristais de gelo nos sorvetes. Tem ainda propriedade estabilizante, já que impede a perda de humidade da massa, mantendo-a crocante. Esta goma é profusamente utilizada numa gama de produtos alimentares (Cubero, *et al.*, 2002; Chawla e Patil,2010; Phillips e Williams,2000).

1.7 Interações sinérgicas entre hidrocolóides

Uma área de grande interesse em termos práticos e de investigação é a interação sinérgica entre hidrocolóides. As misturas de hidrocolóides são usualmente utilizadas para conferir novas e melhores características reológicas aos produtos alimentares, podendo contribuir para uma redução dos custos finais de produção de um determinado alimento (Tubari, *et al.*, 2008; Williams,*et al.*, 1991).

Alguns autores afirmam que a interação é a palavra-chave para o comportamento dos hidrocolóides em soluções. Contudo, as interações sinérgicas intermoleculares podem ser suficientemente fortes para levar à gelificação, mesmo com uma concentração muito baixa do

polímero. Em outros casos, apenas se pode observar um aumento da viscosidade da solução (Silva e Rao, 1992; Rocks, 1971; Sanderson, 1996; Phillips e Williams, 2000).

Embora existam muitos debates quanto à natureza exata da interação goma xantana e galactomananas, é sabido que misturas de goma xantana -guar promovem um aumento sinérgico da viscosidade da solução, assim como a goma xantana associada com a goma de alfarroba em baixas concentrações (<0,03%). No entanto, a interação da goma xantana com a goma de alfarroba em concentrações mais elevadas produz um gel suave e elástico, termicamente reversível (55-60°C) (Phillips e Williams, 2000). Como já referido, a capacidade das galactomananas, goma de alfarroba e goma guar, em aumentar a viscosidade ou formar géis com a goma xantana está relacionada com a razão manose: galactose (Phillips e Williams, 2000). As galactomananas com poucas cadeias laterais de galactose, como a goma de alfarroba, interagem mais fortemente com a estrutura principal da xantana. Já as galactomananas com mais cadeias laterais de galactose, como a goma guar, interagem fracamente, ou seja, a mistura xantana-guar não tem a capacidade de formar um gel (Phillips e Williams, 2000).

As soluções com misturas xantana-guar podem ser preparadas à temperatura ambiente. As misturas xantana-alfarroba necessitam serem aquecidas para uma temperatura entre 90-95°C, para promover a hidratação completa da goma de alfarroba e aumentar o efeito sinérgico (Phillips e Williams, 2000). A interação da goma xantana com galactomananas depende das proporções na mistura, pH e composição iónica do meio. As proporções ótimas da mistura das gomas são aproximadamente 80:20 de goma guar: goma xantana e 50:50 de goma alfarroba: goma xantana. Sendo uma indicação de um efeito sinérgico dessas duas gomas, na referida proporção (Phillips e Williams, 2000). No entanto, as proporções entre as gomas para o máximo efeito sinérgico não é um assunto resolvido (Silva e Rao, 1992).

Estudos realizados sugerem que uma interação específica ocorre entre as moléculas rígidas e ordenadas da xantana e as moléculas das galactomananas (Figura 16) (Wang, *et al.*, 2002; Casas e García-Ochoa, 1999). As galactomananas atuam como um desnaturante, alteram a conformação rígida e ordenada da xantana para uma conformação mais flexível (Morris, *et al.*, 1980; Morris, 1990).

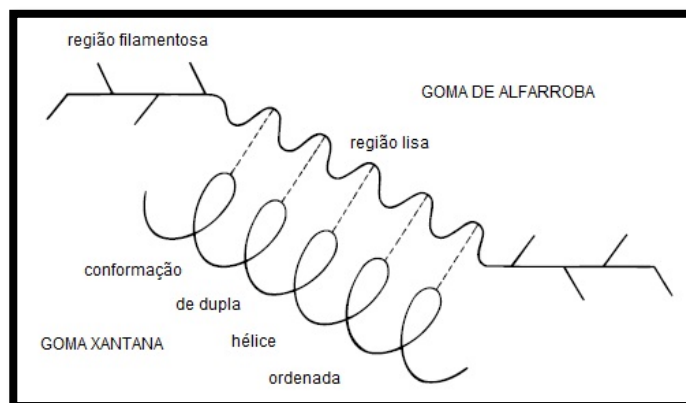


Figura 16. Esquema da interação intermolecular entre as moléculas da goma xantana e da goma de alfarroba em solução. Fonte: Adaptado de Casas e García-Ochoa, 1999.

1.8 Interações entre o amido e outros hidrocolóides

Como já referido, o amido é constituído de dois polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina. Estes polímeros estão presentes nos grânulos na forma associada. Após a gelatinização do amido, durante o arrefecimento, inicia-se um processo onde as moléculas de amilose auto associam-se, e formam um gel. Esse processo é denominado retrogradação do amido (Coultate, 2002).

Os hidrocolóides são muitas vezes utilizados nas formulações de pães como uma estratégia para melhorar as propriedades tecnológicas das massas e a qualidade final do pão. A adição dos hidrocolóides têm demonstrado que estes afetam o comportamento reológico da massa e o endurecimento do pão (Guarda, *et al.*, 2004). A gelatinização do amido na presença de diferentes hidrocolóides influencia a viscosidade da pasta de amido quente. Este comportamento tem sido explicado em termos da formação de complexos entre os polímeros de amido (amilose e amilopectina) e os hidrocolóides durante a gelatinização (Rodge, *et al.*, 2012).

Um estudo avaliou o efeito da adição de goma xantana e goma guar na força do gel de amido de milho com diferentes proporções de amilose/amilopectina (Weber, *et al.*, 2009) permitiu verificar que os géis de amido com alto teor de amilose apresentaram uma força de gel maior que os géis de amido com menor fração de amilose, demonstrando o elevado impacto desta molécula na força final do gel. Neste estudo a adição de goma xantana proporcionou uma redução significativa da força do gel de amido, independentemente do teor de amilose, em todos os tempos de armazenamento analisados. A adição de goma guar não promoveu alterações significativas nos valores de força do gel durante 7 dias de armazenamento. O resultado obtido com a adição da xantana pode ser justificado por uma maior interação com a água por parte desta goma, pela sua capacidade de ionização, restringindo a quantidade de água disponível para a completa gelatinização do amido, resultando em géis com valores de força inferiores. A redução da força dos géis também pode ser atribuída à capacidade da goma de impedir a saída da amilose dos grânulos, consequentemente retardando as ligações amilose-amilose, que são estabelecidas na retrogradação do amido (Lai, *et al.*, 2003).

O endurecimento refere-se a todas as alterações físico-químicas que ocorrem nos alimentos após a cozedura, tornando o produto menos aceitável para o consumidor (Koksel, 2009). O endurecimento do pão é considerado um processo muito complexo, que não pode ser explicado por uma única causa. A retrogradação do amido, reorganização dos polímeros no interior da região amorfa, perda do conteúdo de humidade, distribuição de água entre a zona amorfa e a cristalina e a estrutura macroscópica do miolo devem contribuir para o processo de endurecimento (Guarda, *et al.*, 2004).

O fenómeno do endurecimento ainda não é completamente compreendido, embora muitos investigadores concordem que a retrogradação do amido é o fator mais importante que promove o aumento da firmeza do miolo. Investigadores que avaliaram o efeito da adição de diferentes hidrocolóides (carragenato, alginato, xantana, carboximetilcelulose e gelatina) no comportamento de

endurecimento do miolo à base de farinhas isentas de glúten, mostraram que a goma xantana reduziu a firmeza do miolo nos diferentes tempos de armazenamento (0, 24hs e 72hs) (Sciarini, *et al.*, 2010). Em contraste, outro estudo verificou que o pão contendo xantana mostrou o maior valor da firmeza em comparação com os outros hidrocolóides após 24hs de armazenamento (Guarda, *et al.*, 2004). Os variados ingredientes que constituem as formulações do pães promovem diversos efeitos sobre o endurecimento. Sendo o pão um alimento complexo, onde todos os ingredientes interagem uns com os outros, é difícil estimar os efeitos específicos dos hidrocolóides no processo de endurecimento do pão.

1.9 Avaliação das propriedades de textura

A textura é um conceito puramente sensorial, pois a sua percepção depende principalmente da deformação do alimento quando é aplicada uma pressão e/ou de determinadas propriedades estruturais percebidas pelo tato ou pela visão. Contudo, é na boca que ocorre a melhor percepção da textura, através dos processos de mastigação e deglutição (Cubero, *et al.*, 2002).

Pode-se afirmar que a aceitação de um determinado produto pelo consumidor vai depender basicamente de quatro principais fatores de qualidade: aparência, sabor, textura e características nutricionais. Contudo, outros fatores podem também ser determinantes para a sua aceitação pelo consumidor, como custo, conveniência, e embalagem, mas não são considerados fatores de qualidade de alimentos. A aparência, o sabor e a textura são denominados fatores de aceitabilidade sensorial por serem diretamente percebidos pelos sentidos. Por outro lado, as características nutricionais são também um fator de qualidade, mas que não são percebido pelos sentidos (Bourne, 1982; Sousa, 2001).

Para os produtos de panificação, a textura é uma propriedade importante, contudo, não é considerada dominante para a qualidade global do produto, contribuindo, mais ou menos igualmente, com o sabor e a aparência (Bourne, 1982).

A avaliação sensorial de um alimento é um processo caro e difícil de afinar, por isso nos últimos anos têm sido desenvolvidos equipamentos e métodos de ensaios que permitam fazer a avaliação instrumental da textura sem recorrer aos painéis sensoriais treinados que têm custos muito elevados e cujos os resultados nem sempre se conseguem correlacionar com outros parâmetros.

As propriedades sensoriais de um determinado produto podem ser traduzidas em termos de propriedades físicas, macroscópicas, e mensuráveis instrumentalmente e que são, por outras palavras, uma expressão da estrutura do alimento que resulta da composição química do mesmo (Bourne, 1982; Sousa, 2001). A textura é a propriedade mais importante dos alimentos sólidos (Sousa, 2001).

A dureza ou firmeza é uma propriedade física do material que pode ser utilizada na avaliação instrumental da textura dos alimentos, sendo usualmente avaliada por técnicas de compressão e texturometria (Sousa, 2001). Normalmente associa-se o termo dureza a materiais predominantemente sólidos (como os frutos) e o termo firmeza a alimentos menos firmes (como a massa de pão ou mesmo o pão). Ambas as características apresentam o mesmo significado físico.

O texturómetro é um equipamento constituído por um dinamómetro que fornece energia mecânica a taxa constante (Figura 17). O resultado obtido é uma curva força *versus* tempo (ou força *versus* distância) onde se regista a variação dos parâmetros de textura do material. Este equipamento realiza diversos testes, sendo um dos mais populares o denominado ensaio das duas dentadas («two bite»), em que a sonda atua duas vezes sobre a amostra em penetrometria ou em compressão, com um tempo de espera entre elas. O objetivo é reproduzir a ação de duas dentadas (incisivos ou molares), dando certo tempo de recuperação ao material (Sousa,2001).



Figura 17. Texturómetro utilizado neste trabalho para os ensaios de «two bite» e compressão não destrutivo das massas de pão e do pão.

Na Figura 18 apresenta-se uma representação esquemática de um ensaio de «two bite» no texturómetro.

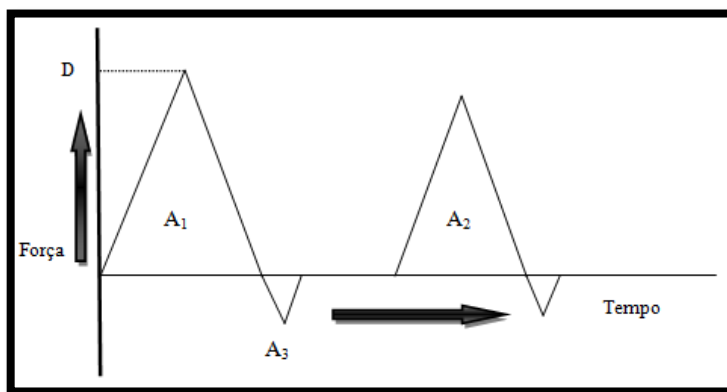


Figura 18. Representação esquemática do texturograma de um ensaio das duas dentadas («two bite»). D- Dureza ou firmeza, A_1/A_2 - coesividade, A_3 - adesividade. Fonte: Adaptado de Bourne, 1982.

Durante o teste das duas dentadas (em modo de compressão ou de penetração) é realizada uma primeira compressão seguida por um relaxamento e logo após, uma segunda compressão. Com

este teste, para além da firmeza ou dureza, outros parâmetros de textura do alimento são determinados: elasticidade, coesividade e adesividade. Considerando que a avaliação da textura é então feita por mais de um parâmetro é por isso que se fala em Análise do Perfil de Textura – TPA (Sousa, 2001). Neste trabalho, optou-se pelo teste das duas dentadas em modo de penetração para avaliar a textura das massas de pão. O Quadro 6 resume os principais parâmetros que estão bem correlacionados com a avaliação sensorial de um determinado alimento, bem como o modo como são obtidos a partir de um texturograma como o representado na Figura 18.

Quadro 6. Principais parâmetros correlacionados com a avaliação sensorial de um alimento

Firmeza ou Dureza (N ou Kgf): corresponde à força máxima registrada no primeiro ciclo de penetração ou compressão
Elasticidade: relacionada com a capacidade de recuperação do material entre o 1º e o 2º ciclo, corresponde ao cociente entre as duas deformações
Coesividade (adimensional): obtida dividindo o trabalho realizado durante o 2º ciclo e o trabalho realizado durante o 1º ciclo
Adesividade (N.s): corresponde ao trabalho necessário para remover a sonda do material; é dada pela área negativa do gráfico; apenas existe em certos materiais

Fonte: Sousa, 2001.

Os parâmetros acima referidos são de grande interesse quando se pretende avaliar diferenças de textura sem recorrer ao painel de provadores (Sousa, 2001). De salientar que existem parâmetros do perfil de textura que se correlacionam melhor com determinado alimento e outros com um outro.

Um outro teste realizado, o teste de compressão mede a resistência da amostra à compressão, sendo utilizado como uma medida da firmeza do material. Para um verdadeiro teste de compressão, a área do cilindro de compressão deve ser superior à área da amostra (Sousa, 2001).

No presente trabalho realizou-se o teste de compressão não destrutivo às massas de pão e ao pão. Neste teste, a força de compressão é reduzida para garantir que não haja fratura, rotura, ou algum outro dano irreversível a amostra. Pode-se considerar este teste uma medida da “maciez” do alimento (Sousa, 2001; Bourne, 1982). Com este teste, para além da firmeza ou dureza, pode obter-se a elasticidade, expressa em percentagem (%) como razão da força aplicada no tempo de 60 segundos e a força máxima (multiplicada por 100). A Figura 19 mostra a representação esquemática de um texturograma típico de um ensaio de compressão não destrutivo no texturómetro.

É interessante de destacar que os valores numéricos de firmeza e elasticidade obtidos do teste de compressão não são comparáveis aos resultados obtidos a partir do teste das duas

dentadas, atendendo às diferenças nos princípios envolvidos com as medições e pelo facto das medidas obtidas serem de carácter empírico (dependentes das condições do ensaio) e não fundamentais.

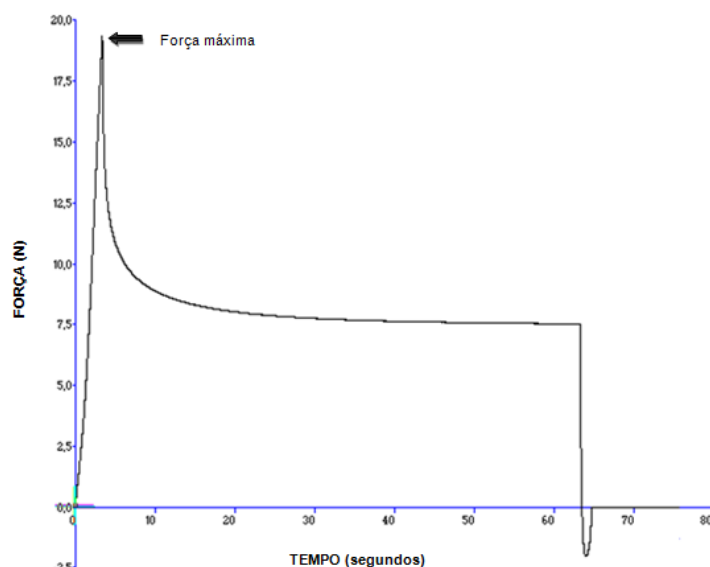


Figura 19. Representação esquemática do texturograma típico de um teste de compressão à massa do pão.

1.10 Análise do comportamento viscoelástico de um alimento

De uma forma genérica pode definir-se reologia como sendo a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais, sob a influência de forças mecânicas (Sousa, 2001). A propriedade reológica de interesse no caso dos materiais sólidos é a elasticidade e dos líquidos é a sua viscosidade. Contudo, na prática, é difícil distinguir entre sólidos e líquidos, havendo materiais que combinam simultaneamente as características de um fluido viscoso com as de um sólido elástico, e são denominados de viscoelásticos, onde podemos enquadrar a massa do pão (Morais, 2001; Alves, 2003; Ibarz e Barbosa-Cánovas, 2005; Williams, 2007).

A maioria dos fluidos alimentares são reofluidificantes (comportamento não newtoniano) e normalmente apresentam uma predominância da componente viscosa, nesses casos, a viscosidade vai diminuindo à medida que aumenta a taxa de deformação (Figura 20) (Sousa, 2001). Por exemplo, as maioneses, molhos para saladas, queijos de pasta mole, iogurtes, margarinas, patés, chocolate fundido, entre outros alimentos, como as massas de bolachas e de pão apresentam este tipo de comportamento (Alves, 2003).

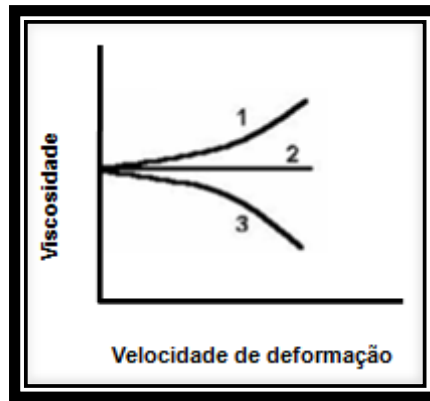


Figura 20. Curvas de fluxo de fluidos representativas dos diferentes tipos de comportamento reológico. 1- reoessante, 2-newtoniano, 3- reofluidificante

Quando um alimento apresenta um comportamento não newtoniano em que a viscosidade aumenta com a velocidade de deformação, este tipo de comportamento é denominado reoessante. Um exemplo deste comportamento ocorre em dispersão de amido em água (Alves,2003).

Normalmente, as propriedades reológicas dos materiais viscoelásticos são descritas a partir do módulo dinâmico complexo (G^* em Pa), « $G^* = G' + i.G''$ », onde G' (módulo elástico) reflete a contribuição elástica do material e G'' (módulo viscoso) reflete a contribuição viscosa (Alves, 2003). Quando o comportamento viscoelástico é descrito pela variação de G' e G'' em função da frequência obtém-se uma curva denominada espectro mecânico ou varrimento de frequência (Figura 21), que fornece importantes informações sobre a estrutura interna do material analisado (Alves, 2003). Alguns polissacáridos, nomeadamente a goma xantana, têm uma tendência em formar soluções não estruturadas (Figura 21-A). Outros polissacáridos, como amilose, agarose, carragenato e goma gelana, produzem soluções estruturadas, ou seja, géis fortes (Figura 21-B).

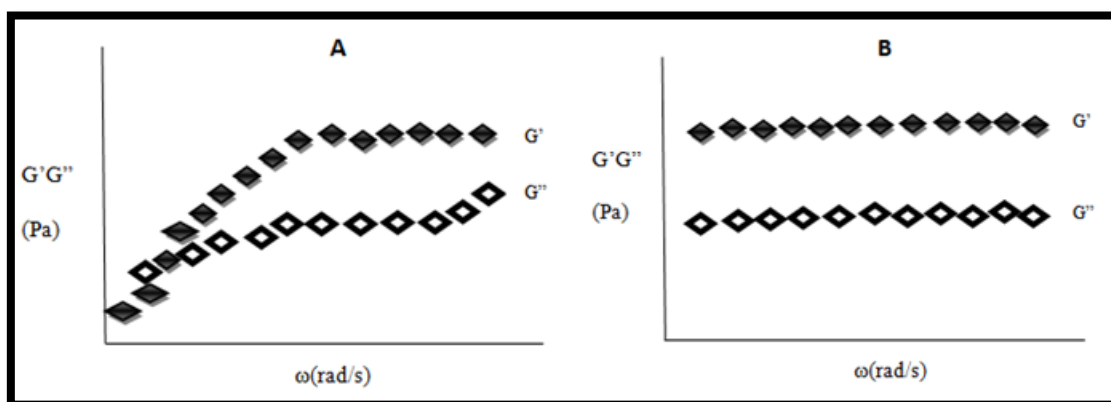


Figura 21. Espectros mecânicos de dois tipos de materiais viscoelásticos. A- Solução não estruturada (polímero entrelaçado); B- Solução estruturada (gel forte).

Investigadores que avaliaram o efeito de diferentes hidrocolóides (pectina, carboximetilcelulose (CMC), agarose, xantana e β -glucano de aveia) na reologia das massas à base de farinha de arroz e amido de milho, verificaram que para todas as massas com adição dos diferentes hidrocolóides o módulo elástico (G') foi maior que o módulo viscoso (G''). De acordo com estes investigadores, os valores G' estão fortemente correlacionados com a força da massa. Entre os hidrocolóides, a massa com adição de xantana foi a mais elástica. A alta elasticidade das formulações das massas com adição de xantana pode ser explicada pela propriedade de gel fraco, devido a sua conformação de cadeia rígida e ordenada. Neste estudo as amostras para os ensaios reológicos das massas foram preparadas como os utilizados em panificação, mas sem levedura adicionada. (Lazaridou, *et al.*, 2007). Outro estudo realizado por Crockett, *et al.*, 2011 concluiu que a adição de xantana aumentou a elasticidade (G') da massa isenta de glúten. Como já referido, este resultado reflete uma massa muito forte.

Investigadores que estudaram as propriedades reológicas das massas de pão à base de farinha de arroz contendo diferentes hidrocolóides com ou sem emulsionantes, verificaram que todas as massas apresentaram a estrutura como sólida com o módulo elástico (G') superior ao módulo viscoso (G''). Neste estudo, a adição de xantana forneceu o maior valor dos módulos entre as amostras das massas sem emulsionantes, seguida pelas massas contendo a mistura das gomas xantana e guar. A goma guar resultou num aumento relativamente menor do módulo viscoelástico em comparação com a goma xantana. As amostras para os ensaios reológicos das massas foram preparadas sem a adição de levedura para a formulação (Demirkesen, *et al.*, 2010).

De salientar que para se poder obter tais informações é fundamental garantir que os testes de varrimento de frequência são obtidos com uma tensão (no caso de um reómetro de tensão controlada) que não implique a destruição interna dessa estrutura, ou seja, os testes são realizados com uma tensão contida dentro da zona viscoelástica linear. Para tal, a realização de um espectro mecânico pressupõe que se realize previamente um teste de varrimento de tensões, de modo a garantir qual a gama de tensões que não implica a destruição da estrutura interna do alimento. Esse intervalo é considerado como a zona viscoelástica linear. A tensão a aplicar para a realização do espectro mecânico deverá ser a maior possível, contida nesse intervalo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para definir a formulação do pão isento de glúten a desenvolver, foram realizados ensaios preliminares a partir de receitas já disponíveis e especialmente direcionadas ao público celíaco (<http://www.acelbra.org.br/2004/receitas_sem_gluten.php>; Layton e Larsen, 2012; Vickery, 2010). A partir de observações das farinhas e de outros ingredientes usualmente utilizados, estruturou-se uma formulação de partida.

A base farinácea da formulação final é constituída de 50% de farinha de arroz, e de 50% de farinha de milho. Outros ingredientes como fermento liofilizado, sal, açúcar, goma xantana, goma guar e água foram adicionados à massa nas quantidades indicadas no Quadro 7 relativo à formulação das massas com 1% da massa total de gomas, em diferentes proporções.

Quadro 7. Formulação das massas com 1% de massa total de gomas em diferentes proporções

INGREDIENTES	FORMULAÇÃO DAS MASSAS					
	CONTROLE	100% X	75%X + 25%G	50%X + 50%G	75%G + 25%X	100%G
Farinha de Arroz (g/696g)	183,5	180	180	180	180	180
Farinha de Milho (g/696g)	183,5	180	180	180	180	180
Açúcar (g/696g)	2	2	2	2	2	2
Sal (g/696g)	2	2	2	2	2	2
Fermento liofilizado (g/696g)	5	5	5	5	5	5
Goma xantana (g/696g)	-	7	1,75	3,5	5,25	-
Goma guar (g/696g)	-	-	5,25	3,5	1,75	7
Água (g/696g)	320	320	320	320	320	320

2.1 Materiais

Os materiais foram selecionados atendendo ao seu custo de mercado, acessibilidade e garantia de isenção de glúten. Assim, utilizou-se farinha de milho tipo 70 (CEIFEIRA®), adquirida no mercado local, farinha de arroz gentilmente oferecida pela Atlantic Meals. As gomas xantana (ALBERT & FERRAN ÀDRIA®) e guar (SOSA®), e os restantes ingredientes - fermento liofilizado (RAMAZZOTTI®), sal (PINGO DOCE®); açúcar (SIDUL®) foram adquiridos no mercado local.

2.2 Metodologia

2.2.1 Preparação da massa de pão

As formulações das massas foram preparadas com 360g de uma mistura de farinhas de arroz e de milho, correspondendo a 50% em massa de cada; uma mistura de goma xantana e goma guar com diferentes proporções em que a quantidade total de goma foi de 0,5% e 1,0% (m/m), fermento liofilizado (5g-0,71%), sal (2g-0,28%), açúcar (2g-0,28%) e água (320g-45,9%), para obter uma massa total de 696g. As concentrações de gomas xantana e guar foram calculadas com base no peso final da massa.

Para a preparação das massas sem a prévia hidratação das gomas, a mistura das gomas xantana e guar em diferentes proporções e numa quantidade total de 1,0% (m/m) foi misturada aos ingredientes secos (farinha de arroz, farinha de milho e sal). O fermento liofilizado foi previamente hidratado, num recipiente separado, com 100g da água a ser utilizada na formulação da massa a que se adicionaram os 2g de açúcar. A mistura foi mantida, durante 5 minutos num banho com temperatura controlada a 37°C, sendo posteriormente adicionada à massa. Para este ensaio a amostra sem a adição das gomas foi utilizada como controle. O modo de preparação da massa sem a prévia hidratação das gomas pode ser acompanhado através do fluxograma da Figura 22.

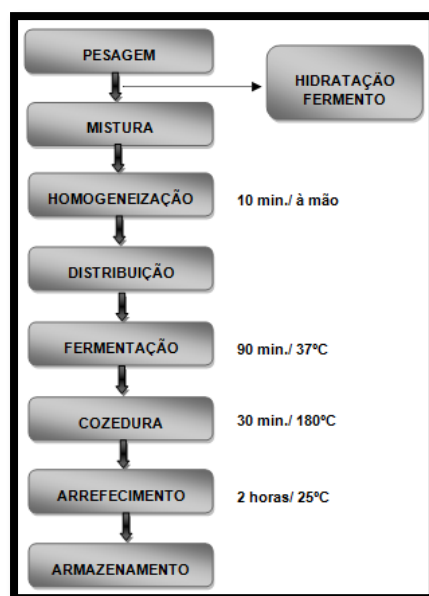


Figura 22. Fluxograma do processo de preparação da massa sem a prévia hidratação das gomas.

Os ingredientes foram misturados à mão durante 10 minutos, a massa obtida foi colocada numa forma retangular (com dimensões de 22,0 x 11,5 x 6,0 cm³). A fermentação ocorreu durante 90 minutos, num banho termostático (PSelecta Tectron Bio, Espanha) com temperatura controlada a 37°C. Após fermentação, a massa foi cozida num forno elétrico ventilado (Garbin Professional Ovens®), a 180°C por 30 minutos. Dentro do forno foi colocado um recipiente com água para garantir

uma envolvente húmida, com o objetivo de retardar a formação da crosta do pão. De seguida, procedeu-se ao arrefecimento dos pães, durante 2 horas, até à temperatura ambiente (cerca de 25°C). Uma vez arrefecidos, os pães foram embalados em sacos plásticos e armazenados à temperatura ambiente, para análise posterior.

Para o ensaio das gomas hidratadas (Figura 23), a mistura das gomas foi adicionada na formulação a 0,5% e 1% em relação à massa total. A mistura de gomas xantana e guar foi preparada pela mistura em quantidades iguais de cada goma (50% em massa de cada). Antes de adicionar as gomas aos ingredientes secos da massa, a mistura das gomas foi dispersa em 85% da água a ser utilizada na formulação da massa utilizando um homogeneizador de alta velocidade (Ika-Werke, Eurostar digital, Alemanha) com uma velocidade controlada de 1800 rpm. A hidratação ocorreu sob agitação durante dois tempos, 30 e 60 minutos à temperatura de 25°C. Em seguida foi adicionada à mistura.

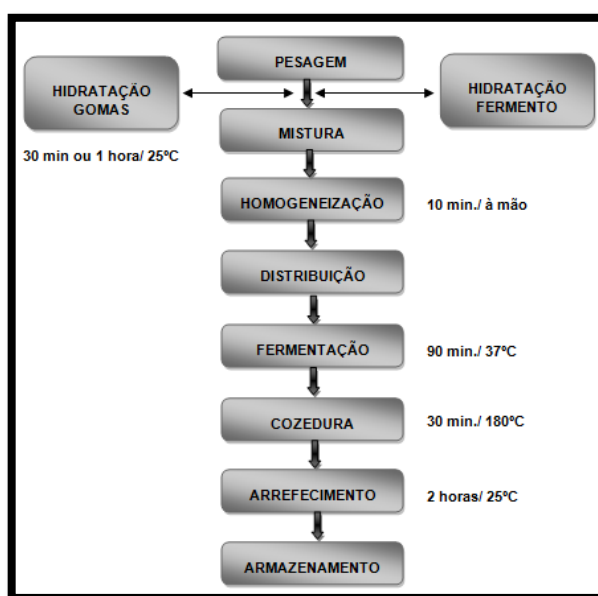


Figura 23. Fluxograma do processo de preparação da massa com a prévia hidratação das gomas.

2.2.2 Comportamento reológico das massas de pão

As amostras das massas para os ensaios reológicos foram obtidas das massas utilizadas para os ensaios de textura, após o processo de fermentação, ou seja nas condições em que foram para o forno. Efetuou-se a avaliação do comportamento viscoelástico linear das massas, aplicando tensões oscilatórias de pequena amplitude – SAOS, num reómetro de tensão controlada (Rheometer Haake RS-300, Alemanha). O comportamento viscoelástico foi determinado pela variação de G' (reflete a contribuição elástica do material) e G'' (reflete a contribuição viscosa) com a frequência - teste de varrimento de frequência, que corresponde ao espectro mecânico do material e que reflete a organização da sua estrutura interna, desde que o mesmo seja realizado na zona de viscoelasticidade linear do material. Para todas as amostras de massa estudadas foi realizado, antes

do espectro mecânico, um teste de varrimento de tensão, de modo a selecionar a tensão a aplicar que permitisse garantir as condições de linearidade.

O espectro mecânico foi realizado considerando um tempo de espera da amostra no prato do reómetro de cerca de 10 minutos, de modo a permitir a estabilização do material, tendo em conta testes prévios de varrimento de tempo que asseguravam condições mínimas de equilíbrio após esse tempo. Todos os ensaios reológicos foram realizadas à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, sendo a mesma controlada no prato do reómetro através de um sistema UTCe-Peltier acoplado, utilizando um sistema sensor de pratos paralelos rugosos, com 20 mm de diâmetro e um intervalo entre pratos de 2 mm. Efetuaram-se pelo menos duas repetições de cada massa.

2.2.3 Avaliação da textura da massa e do pão

A avaliação instrumental da textura do pão e das respetivas massas foi realizada num texturómetro TA.xt.plus (Stable Micro Systems, UK) equipado com uma célula de carga de 5kg, numa sala com temperatura controlada a $20\pm 5^{\circ}\text{C}$. Foram efetuados testes em compressão e penetração, os quais são descritos a seguir.

Cada formulação de massa foi preparada pelo menos em duplicado e para cada massa fizeram-se pelo menos seis determinações. A massa foi analisada no mesmo período de preparação dos testes reológicos, ou seja, logo após a fermentação – nas condições de entrada para o forno. A textura da massa de pão foi avaliada recorrendo a dois testes distintos:

O teste de perfil de textura (TPA), ou teste das duas dentadas (two bite) da massa, em que a sonda atua duas vezes o material em modo de penetração (Sousa, 2001). Havendo um tempo de intervalo de 5 segundos entre os dois ciclos, para a recuperação da estrutura do material. O teste foi realizado utilizando uma sonda cilíndrica de alumínio p/25 (25 mm de diâmetro) que penetrou a amostra (2,5 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro) a uma profundidade de 10 mm com uma velocidade foi de $2\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Foram obtidos texturogramas de força versus tempo, a partir dos quais se calcularam os seguintes parâmetros: firmeza (N), coesividade (adimensional), adesividade (N.s) e elasticidade (Sousa, 2001). Estes parâmetros obtidos através da análise instrumental de textura correlacionam-se bem quando se pretende avaliar diferenças de textura sem recorrer ao painel de provadores (Sousa, 2001).

Teste de compressão da massa. O teste foi realizado utilizando uma sonda cilíndrica de alumínio p/75 (75 mm de diâmetro) que comprimiu a amostra (2,5 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro) com uma deformação de 25% durante 60 segundos, a uma velocidade de $2\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Foram obtidos texturogramas de força versus tempo a partir dos quais se calcularam os parâmetros firmeza (N) e elasticidade (%) (Sousa, 2001).

Teste de compressão do pão. As amostras dos pães foram analisadas 24 horas após a sua cozedura, preparando-se para o efeito cubos com 2,4 cm de espessura retirados do centro de cada fatia de pão (sem crosta) (Figura 24). Realizou-se um teste de compressão em condições semelhantes às descritas para a massa, mas neste caso usando cubos de pão.



Figura 24. Teste de compressão não destrutivo ao pão.

2.2.4 Análise da cor do miolo do pão

A cor do miolo do pão foi avaliada instrumentalmente com o Colorímetro Minolta CR – 300, Japão. A leitura da cor das amostras dos pães foi expressa, em termos das coordenadas do sistema CIELAB, através dos valores de L^* , a^* e b^* . O parâmetro L^* define a luminosidade, variando entre o preto ($L^*=0\%$) e o branco ($L^*=100\%$). Os parâmetros a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade: a^* , que varia entre (-60) e (+60), quando assume valores positivos indica uma tonalidade no domínio dos vermelhos, enquanto que a^* negativo indica tonalidade no domínio dos verdes; b^* (com variação numérica idêntica a a^*), quando positivo indica tonalidade no domínio amarelo, enquanto b^* negativo indica tonalidade na zona dos azuis (Mcguire, 1992). A análise conjunta dos três parâmetros de cor define a localização da amostra no plano de cor e relaciona-se com a avaliação sensorial da mesma. O colorímetro foi previamente calibrado com um padrão branco Minolta ($Y=92,33$, $x=+0,37$, $y=+2,10$). Para cada formulação, as determinações de cor foram efetuadas seis vezes e os valores apresentados representam a média das mesmas.

A avaliação da aparência dos pães, foi feita de modo empírico, recorrendo a uma observação visual de imagens obtidas através de um Scanner (hp Scanjet 2300c).

2.2.5 Atividade de água (A_w) da massa

De uma forma geral, verifica-se que o conteúdo de humidade de um alimento é a água total que este contém. Contudo, dependendo da composição química do alimento existem zonas ou regiões microscópicas que não permitem a presença de água, consequentemente promovendo uma distribuição heterogénea através do produto. A atividade de água (a_w) estabelece o grau de interação

da água com os diferentes constituintes dos alimentos, expressa uma medida indireta da água disponível (água livre) no alimento, e está diretamente relacionada com o crescimento e a atividade metabólica dos microrganismos (Araújo, *et al*, 2009). Este parâmetro é de extrema importância para a previsão das características de conservação do alimento, nomeadamente no que se refere à sua preservação microbiológica. Em geral, quanto maior o teor de água, maior o valor de a_w . Consequentemente, maior a sensibilidade à deterioração de um produto. Do ponto de vista microbiano, valores da $a_w > 0,75$ favorecem o crescimento de leveduras e bactérias (Araújo, *et al*, 2009).

A determinação da atividade da água das massas de pão foi efetuada logo após a fermentação, utilizou-se o equipamento Hygrolab 3 (Rotronic, UK), sendo realizadas à temperatura constante ($20,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$). Para cada formulação, as determinações foram efetuadas em triplicado e os valores apresentados representam a média.

2.2.6 Envelhecimento do pão

Após a cozedura, as amostras dos pães foram analisadas durante diferentes tempos de armazenamento (2 horas – 164 horas), preparando-se para o efeito cubos com 2,4 cm de espessura retirados do centro de cada fatia de pão (sem crosta). Realizou-se um teste de compressão em condições semelhantes às descritas para a massa de pão. Foram obtidos os gráficos força versus tempo a partir dos quais se calcularam os parâmetros firmeza (N) e elasticidade (%) (Sousa, 2001).

2.2.7 Análise Estatística

Para determinar a existência de diferenças significativas entre os valores médios obtidos para um determinado parâmetro, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) on-way, sendo realizado o teste de Scheffé, considerando-se em todos os casos um nível de significância de 5%. A análise estatística foi realizada pelo software Statistica 6.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados têm por base os métodos previamente descritos e organizam-se em duas fases distintas – numa primeira etapa todos os estudos são apresentados utilizando um sistema de produção que não envolve a hidratação prévia das gomas xantana e guar e numa segunda fase, avalia-se o efeito da hidratação prévia das gomas.

3.1 Impacto das diferentes proporções de goma xantana e guar nas propriedades do pão

3.1.1 Aparência da estrutura interna dos pães com diferentes proporções de gomas não hidratadas

O efeito da adição de diferentes proporções de goma xantana e guar, com concentrações totais de goma de 1% (m/m), na aparência geral do pão, ou seja, na estrutura interna dos pães, mais concretamente no tipo e distribuição de alvéolos, após 24hs da sua preparação pode ser observado na Figura 25.



Figura 25. Aparência da estrutura interna dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções após 24hs de preparação.

A porosidade e a distribuição de tamanho uniforme dos alvéolos de gás são aspetos importantes para a qualidade final do pão. Um número considerável de alvéolos de gás não uniformes

de grande porte, afeta negativamente a uniformidade da estrutura do miolo, e posteriormente a qualidade do pão (Lazaridou, *et al*, 2007). Verifica-se pelas imagens na Figura 25, que os pães com adição das gomas apresentam uma estrutura interna mais homogênea e com uma distribuição de alvéolos mais uniforme, em comparação com o pão controle (sem adição de gomas). O pão controle parece mais denso, com um número maior de pequenos alvéolos. Este resultado foi observado por Sciarini, *et al*, 2008, que justificou que os pães isentos de glúten normalmente apresentam uma estrutura densa resultante da incapacidade de incorporar gases durante a mistura e/ou reter o CO₂ formado durante a fermentação, devido à falta de uma rede viscoelástica (Sciarini, *et al*, 2008).

Na prática, o pão controle apresentou quebra na estrutura interna, este fato pode estar relacionado a uma fraca estrutura do miolo. A amostra do pão controle apresenta uma área central deprimida, que poderá resultar de uma perda rápida de água durante o cozimento e um retraimento associado da estrutura, tal como referiu Sciarini, *et al*, 2010, num estudo sobre as propriedades das massas e a qualidade de pães à base de farinhas de milho, arroz e soja formulados com diferentes hidrocolóides (carragenato, alginato, goma xantana, carboximetilcelulose e gelatina). Provavelmente, a adição das gomas deverá ter permitido a formação de uma rede viscoelástica na massa, o que deu origem a uma melhoria da estrutura do miolo, evitando assim o efeito de retração e permitindo uma maior retenção do gás produzido na fermentação e, em consequência um maior volume do pão.

As estruturas internas dos pães obtidos com as diferentes proporções de gomas mostraram-se, em termos gerais, similares. No entanto, verifica-se que as formulações com a mistura das duas gomas originam pães com melhor estrutura e maior volume, em comparação as formulações com os pães obtidos com as gomas adicionadas isoladamente. O volume é uma característica muito importante nesse tipo de produto, pois normalmente as massas de pães isentos de glúten são estruturas que apresentam uma baixa capacidade de expansão.

3.1.2 Atividade de água (a_w) das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas

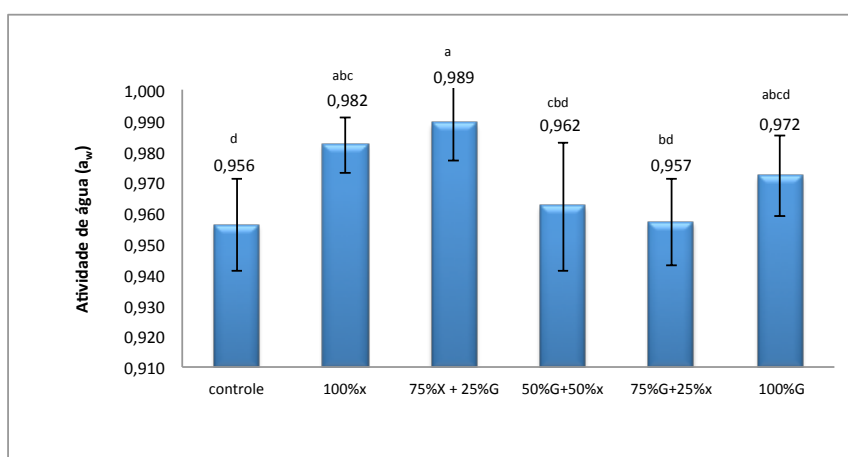


Figura 26. Atividade de água (a_w) das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Considerando os resultados da Figura 26, a atividade de água média das massas foi de 0,969, sendo o maior valor 0,989 (formulação 75%X+25%G) e o menor, 0,956 (formulação controle). As massas com as maiores concentrações de goma xantana (formulações 100%X e 75%X+25%G) apresentam valores significativamente mais elevados de a_w em relação à formulação controle. Aparentemente ao aumentar a proporção de goma guar na massa (formulações 50%X+50%G e 75%G+25%X) verifica-se uma redução da a_w , e que pode ser um resultado positivo do efeito sinérgico das duas gomas. Tal fato pode ser explicado pela presença dos resíduos de galactose que impedem a forte coesão da estrutura principal de manose da goma guar, permitindo assim que a água penetre facilmente entre as moléculas para as hidratar ou dissolver a goma (Phillips e Williams, 2000). Investigadores que estudaram o efeito da adição de goma guar e goma xantana à massa de pão formulada com farinha de trigo não observaram quaisquer mudanças nos valores de atividade de água (a_w) nas massas não congeladas contendo as gomas isoladas ou associadas em relação à massa controle (sem adição de gomas) (Matuda, 2008).

3.1.3 Análise do Perfil de Textura (TPA) das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas

Através da Análise do Perfil de Textura (TPA) avalia-se a textura de um alimento por mais de um parâmetro. A Figura 27 apresenta os resultados da firmeza das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

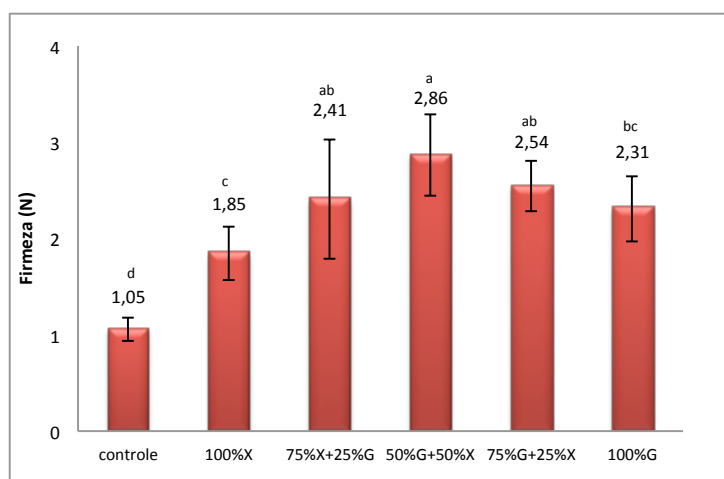


Figura 27. Firmeza das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Na Figura 27 observa-se um aumento significativo ($p < 0,05$) da firmeza da massa com adição das gomas em relação à massa controle (sem adição das gomas). A formulação com igual proporção de goma xantana e guar (50%X+50%G) apresenta o valor mais elevado de firmeza (2,86 N), sendo a formulação controle a que apresenta um valor de firmeza mais reduzido (1,05 N). Contudo, não se

verificou diferença significativa ($p < 0,05$) na firmeza das massas das três formulações de misturas de gomas estudadas.

Observa-se na Figura 27 um aumento significativo ($p < 0,05$) da firmeza das massas das três formulações de misturas de gomas estudadas em comparação com a massa controle (sem adição de gomas). Este resultado pode ser explicado pelo efeito espessante das galactomananas, como a goma guar, quando dissolvida em água fria, é capaz de interagir com a goma xantana para formar ou para fortalecer estruturas tridimensionais estáveis (Phillips e Williams, 2000). Este facto poderia explicar o efeito espessante promovido pelos hidrocolóides na massa em comparação com a massa controle.

Na Figura 28 apresentam-se os resultados da adesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

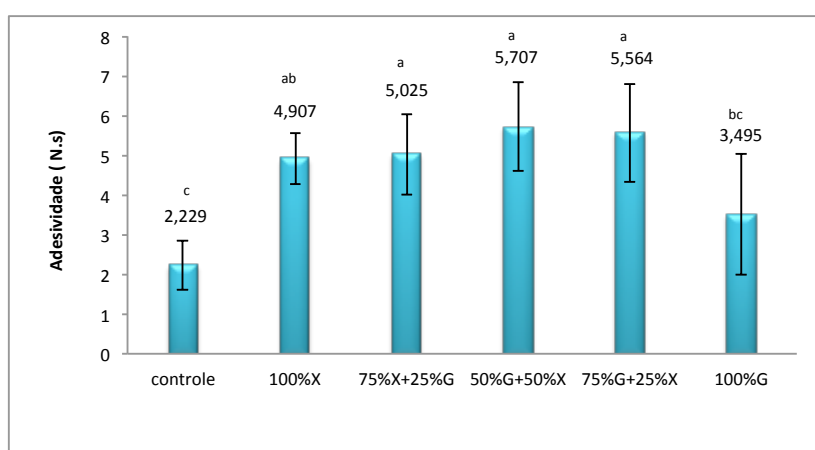


Figura 28. Adesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A partir da Figura 28 verifica-se que, com exceção da formulação 100%G, todas as outras formulações foram significativamente ($p < 0,05$) mais adesivas do que a formulação controle. A adição da goma xantana e das diferentes misturas de gomas xantana e guar na massa promovem um aumento da sua adesividade. Possivelmente a adição de gomas favoreça a absorção e retenção de água, resultando em aumento da adesividade da massa.

Contudo, neste estudo verifica-se que não existem diferenças significativas entre a adesividade das massas obtidas com as três proporções de gomas xantana e guar associadas, tal como se verificou para a firmeza das massas. Também não há diferenças significativas entre as três misturas de gomas estudadas e a formulação com 100%X.

A Figura 29 resume os resultados da coesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

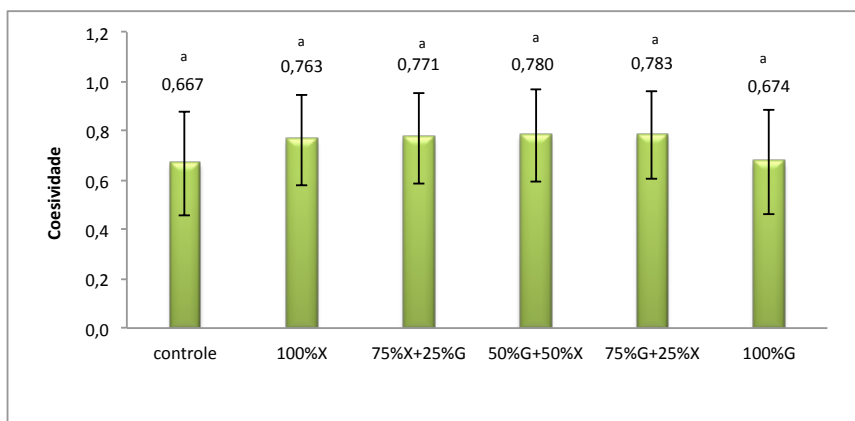


Figura 29.Coesividade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Verifica-se que o parâmetro de coesividade da massa não permite discriminar as diferentes formulações, nem mesmo em relação ao controle. Tal parâmetro não será adequado para o estudo deste tipo de materiais.

A Figura 30 apresenta os resultados da elasticidade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

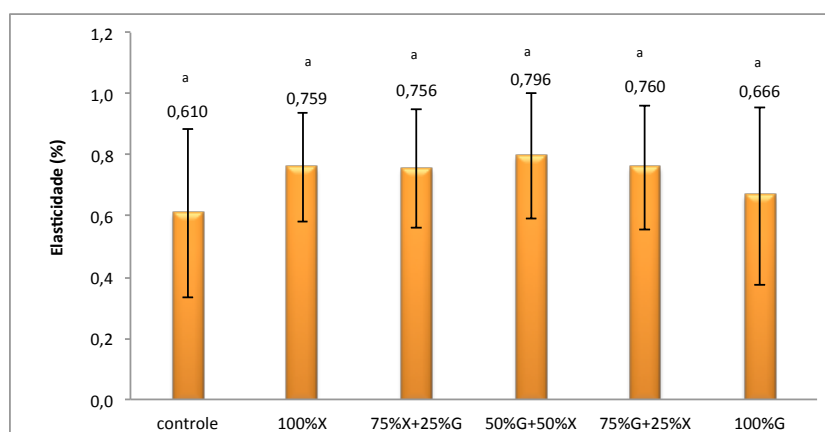


Figura 30.Elasticidade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Tal como se verificou em relação à coesividade, também o parâmetro de elasticidade da massa, obtido a partir do teste de perfil de textura (TPA), não permite discriminar as diferentes formulações, nem mesmo em relação ao controle, não devendo por isso ser utilizado para a comparação entre massas.

Verifica-se assim que a avaliação da textura da massa do pão através do ensaio das duas dentadas (two bite - TPA) demonstrou que a firmeza e a adesividade da massa do pão são os

parâmetros que melhor discriminaram as diferentes formulações estudadas, verificando-se que a coesividade e a elasticidade são parâmetros pouco característicos destes sistemas.

3.1.4 Teste de Compressão das massas com diferentes proporções de gomas não hidratadas

Nos ensaios de compressão das massas mediu-se a resistência do material (massa do pão) à compressão, de acordo com a metodologia anteriormente descrita. A Figura 31 apresenta os resultados da firmeza das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

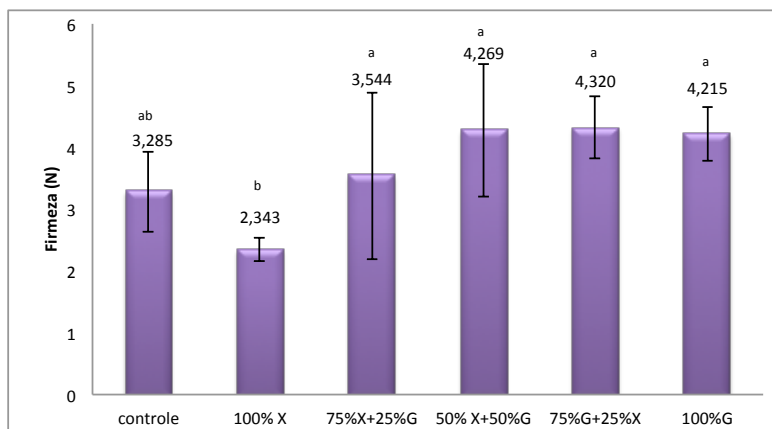


Figura 31. Firmeza por compressão das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Os valores de firmeza das massas obtidos a partir do teste de compressão não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as diferentes formulações, e nem em relação à formulação controle. Com o teste de compressão observou-se, contraditoriamente ao teste TPA, que a adição de xantana reduziu significativamente a firmeza da massa em relação ao controle. Contudo, verificou-se que a firmeza da massa 100%X foi significativamente ($p < 0,05$) inferior em comparação com as massas com a adição da mistura de gomas. Este resultado vai de encontro com o resultado encontrado no teste TPA da massa.

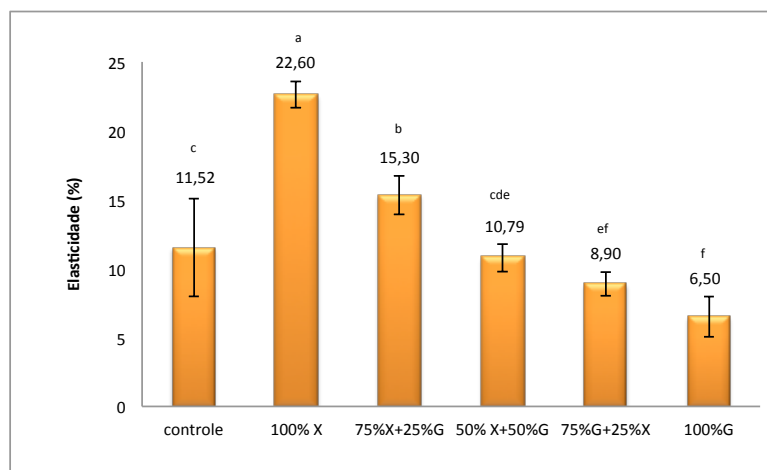


Figura 32. Elasticidade por compressão das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A Figura 32 apresenta os resultados da elasticidade das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

Neste estudo, o teste de compressão mostrou que a formulação 100%X foi a que apresentou o maior valor de elasticidade (22,60%) e a formulação 100%G foi a menos elástica (6,50%). Contudo, os valores de elasticidade das massas diminuem significativamente ($p < 0,05$) à medida que a concentração de goma guar é aumentada e a de goma xantana é reduzida. Este resultado pode ser explicado pela efeito fortificante desses hidrocolóides sobre a estrutura da massa. Este efeito provavelmente resulta das interações dos hidrocolóides cooperativamente com a água bem como com as cadeias de amilose.

Como referido, os resultados de firmeza e elasticidade obtidos com o teste de compressão não são comparáveis aos resultados obtidos a partir do teste das duas dentadas (TPA), atendendo a que existem diferenças nos aspetos envolvidos nas técnicas de medição. Sendo testes empíricos só podem ser comparados exatamente com as mesmas condições de análise.

3.1.5 Teste de Compressão dos pães obtidos com diferentes proporções de gomas não hidratadas

Tendo por base as formulações cujas massas foram anteriormente caracterizadas, em termos de textura, avaliou-se o impacto da adição das gomas, no miolo dos pães obtidos. Para o efeito, mediu-se a resistência do material (pão) à compressão por uma sonda cilíndrica. A Figura 33 apresenta os resultados da firmeza dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtida por teste de compressão.

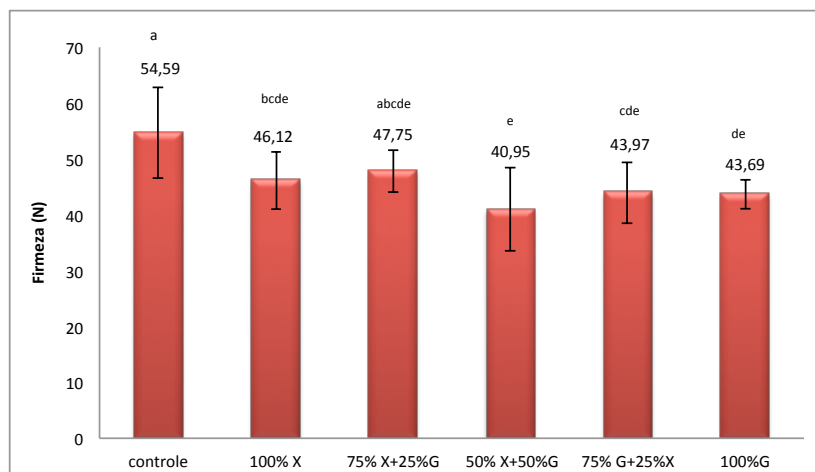


Figura 33. Firmeza dos pães, com adição de 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtida por teste de compressão.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

O pão controle (sem adição de goma) apresenta uma firmeza significativamente ($p < 0,05$) mais elevada (54,59 N) do que os pães obtidos a partir das formulações com adição de gomas. A força medida está no limite de detecção do equipamento (célula de carga de 5 kg), pelo que os erros associados a esta medição são relativamente elevados. Verifica-se ainda que o pão obtido a partir da formulação com igual concentração de ambas as gomas (50%X+50%G) foi o que apresentou um valor de firmeza significativamente ($p < 0,05$) mais baixo - 40,95 N, em relação às outras formulações e ao controle. Observa-se também que a firmeza dos pães com adição das gomas não apresentou diferença significativa entre si.

É de salientar que os resultados apresentados foram obtidos após 24 horas de preparação do pão, não expressando assim a sua firmeza logo após a preparação, que seriam as condições ideais de consumo para o caso de um pão de preparação diária. Após as 24 horas há já um endurecimento do pão muito importante, como se verificou na determinação das curvas de envelhecimento do pão realizadas neste trabalho (Figuras 45(a), p.64 e 46(a) e (b), p.65), o que poderá ter contribuído para uma falta de discriminação da firmeza das amostras, nas condições escolhidas para o ensaio.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a formulação 50%X+50%G conduz a um pão significativamente ($p < 0,05$) menos firme que o pão controle (sem adição das gomas). Sendo este parâmetro determinante para a escolha desta proporção (1:1) para a realização dos ensaios seguintes (hidratação das gomas). Já que não foram observadas diferenças significativas entre a maioria das propriedades de textura das massas. Investigadores (Koksel, 2009) avaliaram o efeito das gomas xantana e guar isoladas ou associadas em diferentes concentrações (0,3%, 0,6% e 1% m/m, base farinácea) na qualidade final do bolo isento de glúten à base de farinha de arroz. Concluíram que os valores mais baixos para a firmeza do miolo foram obtidos para as formulações contendo a mistura das gomas em proporções iguais (0,5%xantana+ 0,5%guar, base farinácea) em

todas as concentrações. De acordo com este autor, as gomas xantana e guar podem funcionar eficientemente a níveis baixos, sendo uma mistura rentável.

A Figura 34 apresenta os resultados da elasticidade dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtidos a partir do teste de compressão.

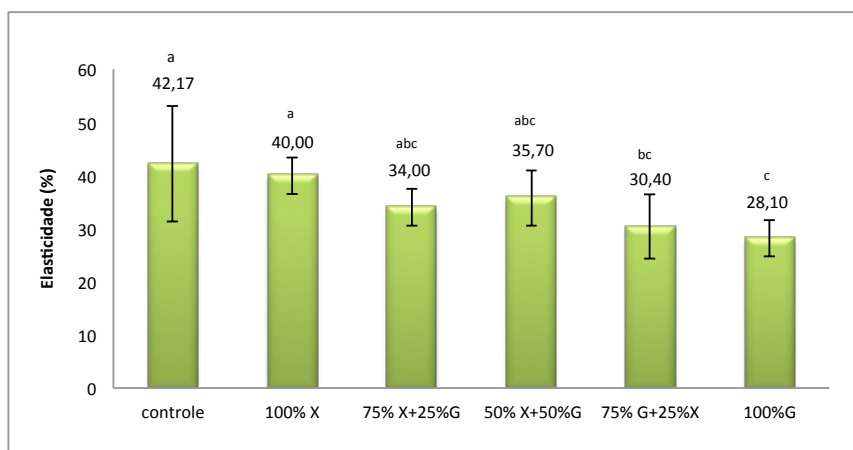


Figura 34. Elasticidade dos pães, com adição de 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções, obtida por teste de compressão.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

O pão que apresentou um valor de elasticidade mais elevado foi o obtido com a formulação controle (42,17 N), enquanto que o pão que apresentou menor valor de elasticidade foi o que se obteve com 100% de incorporação de goma guar - (28,10 N).

Verifica-se ainda que os pães com concentrações mais elevadas de goma guar (formulações 75%G+25%X e 100%G) apresentam elasticidade significativamente ($p < 0,05$) inferior em relação ao controle. Contudo, entre os pães com a mistura de gomas não se verificou nenhuma diferença significativa nos valores de elasticidade.

Os resultados apresentados evidenciam o efeito mais marcante da goma guar na elasticidade do pão em comparação com a goma xantana. Investigadores (Preichardt, *et al*, 2011) que avaliaram o efeito da adição de diferentes concentrações de goma xantana (0,2%, 0,3% e 0,4% como um adicional, sem a redução de outros ingredientes) em bolos isentos de glúten, preparados com farinha de arroz e de milho, observaram que a adição de xantana não influenciou a elasticidade dos bolos. Neste estudo a elasticidade foi determinada através do teste de compressão.

3.1.6 Cor do miolo dos pães obtidos com diferentes proporções de gomas não hidratadas

No Quadro 8 encontram-se resumidos os valores do parâmetro L^* e das coordenadas cromáticas a^* e b^* da análise de cor das amostras do miolo dos pães com diferentes proporções das gomas.

Quadro 8. Valores obtidos do parâmetro L* e das coordenadas cromáticas a* e b* da análise das amostras do miolo dos pães com 1% (m/m) de gomas não hidratadas, em diferentes proporções.

*As colunas com diferentes letras minúsculas representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Formulação	L*	a (-)*	b (+)*
Controle	69,06 ^f	- 1,48 ^d	+27,83 ^{abc}
100%X	74,30 ^b	- 1,54 ^{cb}	+27,13 ^c
75%X+25%G	74,07 ^{cb}	- 1,48 ^{bd}	+27,17 ^{bcd}
50%X+50%G	85,96 ^a	- 2,06 ^a	+27,53 ^{abcd}
75%G+25%X	74,02 ^{db}	- 1,87 ^{abc}	+27,07 ^d
100%G	71,03 ^e	- 2,11 ^a	+28,82 ^a

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L*), todas as formulações com adição de gomas foram significativamente diferentes da formulação controle.

A formulação com igual proporção das duas gomas (50%X+50%G) apresentou um valor L* significativamente maior que as formulações com diferentes proporções das gomas. Em geral, os valores de L* mais elevados, indicando um miolo com uma coloração mais clara. Este fato pode ser atribuído ao efeito dos hidrocolóides na distribuição da água, que tem impacto na reação de Maillard e caramelização, tal como referiram Sciarini, *et al.*, 2010.

Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a* e b*), verifica-se que todas as formulações se apresentaram nas regiões do verde e do amarelo, que em termos instrumentais da cor são característicos de valores negativos para a coordenada a* e positivos para a coordenada b*.

3.2 Avaliação do efeito da hidratação prévia das gomas

A influência da hidratação das gomas xantana e guar é um dos aspectos importantes a considerar quando se deseja avaliar os efeitos destas gomas na textura das massas e pães isentos de glúten. Tendo em conta os resultados apresentados nos pontos anteriores, optou-se por realizar o estudo do efeito da hidratação das gomas considerando a formulação de base com igual concentração de goma xantana e guar (50%X+50%G). Estudou-se a hidratação prévia das gomas em dois tempos (30 e 60 minutos). Para além da concentração total de goma de 1% (m/m) anteriormente estudada, avaliou-se ainda o efeito da redução da concentração total de goma para 0,5% (m/m), atendendo quer aos resultados obtidos, quer às indicações bibliográficas anteriormente referidas, que apontam para o fato de uma concentração elevada (acima de 1% m/m) de xantana poder induzir a gelificação da estrutura, contribuindo negativamente para a firmeza do pão a obter.

3.2.1 Aparência da estrutura interna dos pães obtidos com gomas previamente hidratadas

O efeito da adição das gomas xantana e guar previamente hidratadas, com uma concentração total de 0,5 e de 1% (m/m), na aparência da estrutura interna dos pães, após 24hs da sua preparação pode ser avaliado a partir da Figura 35.

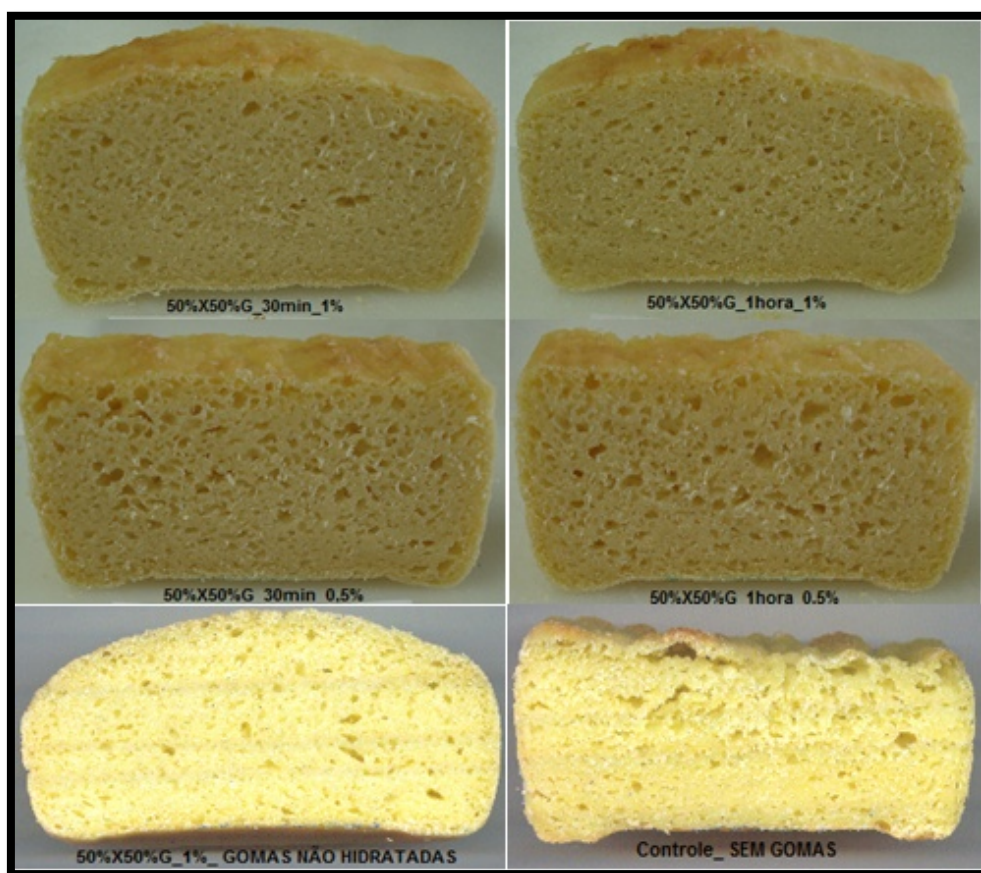


Figura 35. Aparência da estrutura interna dos pães com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min), após 24hs de preparação

Analisando a Figura 35 verifica-se que a hidratação das gomas durante 30 e 60 minutos não apresentou alterações visualmente detetáveis na estrutura interna dos pães, em comparação com o pão com as gomas não hidratadas 1% (m/m). No entanto, verifica-se que a redução da concentração total de gomas de 1% para 0,5% (m/m), independentemente do tempo de hidratação, melhorou a estrutura interna dos pães. A aparência da estrutura interna apresenta-se uniforme, com um número maior de pequenos alvéolos. Este fato está de acordo com o possível efeito negativo da concentração elevada de goma xantana na estrutura do pão, anteriormente referenciado. Todos os pães apresentam uma estrutura mais uniforme e com uma distribuição mais regular dos alvéolos, comparativamente ao pão controle (sem adição de goma).

3.2.2 Atividade de água (a_w) das massas com 0,5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

A hidratação prévia das gomas provocou uma variação na atividade de água (a_w) em relação à formulação das gomas não hidratadas (incorporação direta das gomas na mistura de farinhas) – Figura 36. Contudo, não se verificam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as formulações com as gomas hidratadas e a formulação com as gomas não hidratadas, pelo que tal efeito não deverá ser

relevado. No fundo, a hidratação prévia das gomas em nada altera a acessibilidade da água na estrutura final das massas de pão.

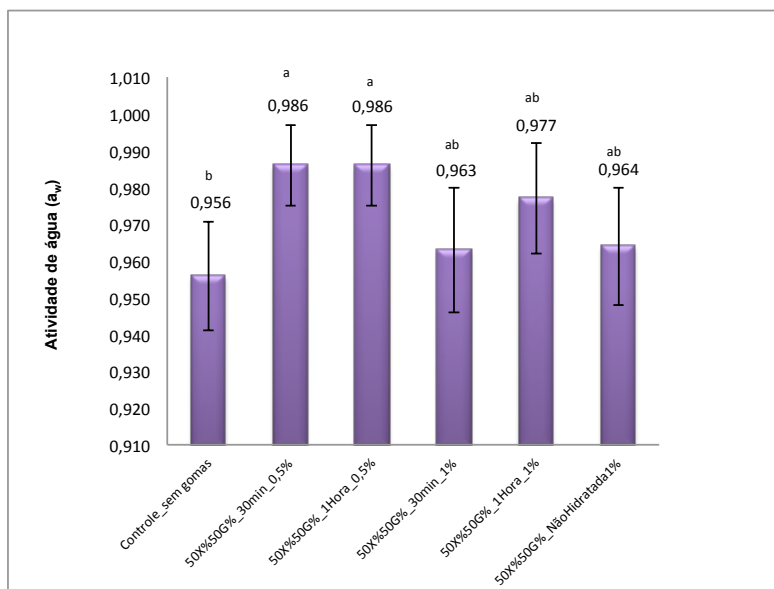


Figura 36. Atividade de água (a_w) das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

3.2.3 Análise do Perfil de Textura (TPA) das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

A Figura 37 apresenta os resultados da firmeza, obtida a partir do teste de TPA, das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com diferentes tempos de hidratação, em comparação com a firmeza das massas obtidas com gomas não hidratadas 1% (m/m). Verifica-se que as massas obtidas com a mistura de gomas hidratadas são significativamente ($p < 0,05$) menos firmes em relação à massa com a mistura de gomas não hidratadas (incorporação direta das gomas na mistura de farinhas). Esta observação é válida para os dois tempos de hidratação estudados.

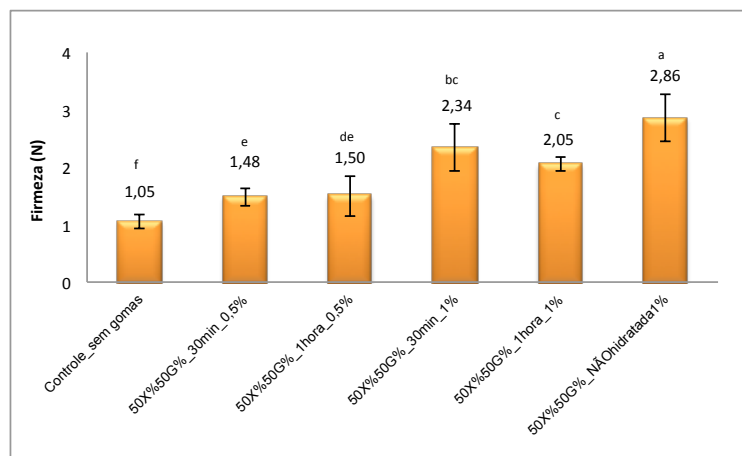


Figura 37. Firmeza das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A hidratação provoca uma redução da firmeza das massas, no entanto, verifica-se que, para uma mesma concentração de gomas, a redução do tempo de hidratação de 60 para 30 minutos não provoca alterações significativas da textura da massa. Ou seja, caso se opte por efetuar uma hidratação prévia das gomas, os resultados indicam que 30 minutos será um tempo suficiente. Este facto está de acordo com o referido por Phillips e Williams(2000), que constata que a dispersão da goma xantana produz uma solução dentro de alguns minutos, com a taxa de hidratação dependente do tamanho da partícula. Ou seja, quanto maior a partícula da xantana mais tempo será necessário para a completa hidratação.

Observa-se ainda que quando se diminui a concentração total da goma para 0.5% (m/m) obtêm-se massas significativamente ($p < 0,05$) menos firmes em relação às massas com uma concentração total de 1% (m/m). Considerando que a adição de hidrocolóides em geral aumenta a firmeza da massa, seria de esperar que uma menor concentração destes tivesse um menor efeito na firmeza, o que de facto se verificou.

No que diz respeito ao facto de, para a mesma concentração, a hidratação reduzir a firmeza da massa, e tendo em conta que o aumento da firmeza foi relacionado na literatura com interações que se estabelecem entre os hidrocolóides e os elementos constituintes da farinha (proteínas e amido), pode pôr-se a hipótese da hidratação prévia, e o estabelecimento de ligações com a água, deixe o hidrocolóide menos disponível para estabelecer o tipo de interações responsáveis pelo aumento da firmeza. Tal facto pode contribuir para que a estrutura que se forma fique mais débil.

A Figura 38 apresenta os resultados da adesividade das massas, obtidos a partir do TPA, com 0.5% e 1% (m/m), em diferentes tempos de hidratação, em relação à formulação obtida com 1% (m/m), mas sem hidratação prévia.

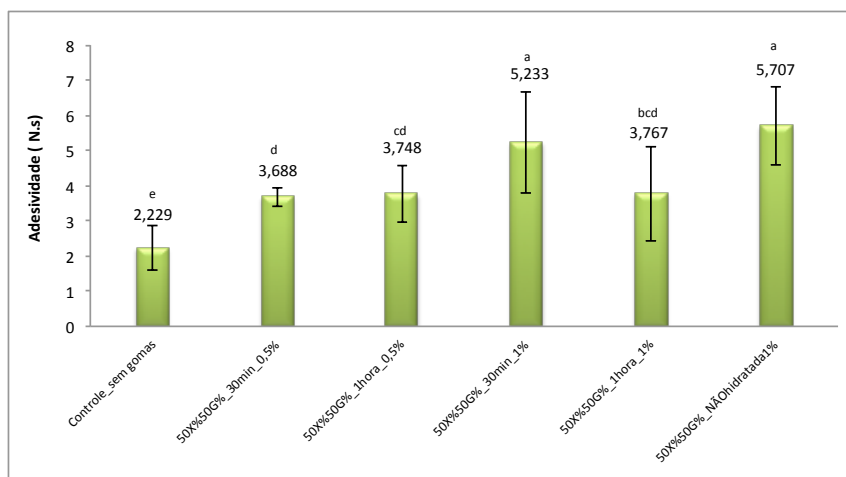


Figura 38. Adesividade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Verifica-se que todas as massas obtidas com 0.5% (m/m) previamente hidratadas são significativamente ($p < 0.05$) menos adesiva em relação à massa com as gomas não hidratadas 1% (m/m). Tal resultado pode justificar-se pelo facto da introdução de gomas aumentar a adesividade e neste caso, sendo a concentração menor, o efeito será também menor. Na prática, tal fato poderá resultar numa maior facilidade em trabalhar manualmente as massas, pois um dos aspectos menos positivos que resultam da incorporação de gomas é a elevada adesividade das massas resultantes. Todas as massas obtidas com 0.5% e 1% (m/m) gomas previamente hidratadas foram significativamente ($p < 0.05$) mais adesivas do que a formulação controle (sem adição de gomas).

A Figura 39 apresenta os resultados da coesividade das massas, obtidos a partir do TPA, com 0.5% e 1% (m/m), em diferentes tempos de hidratação, em relação à formulação obtida com 1% (m/m), mas sem hidratação prévia.

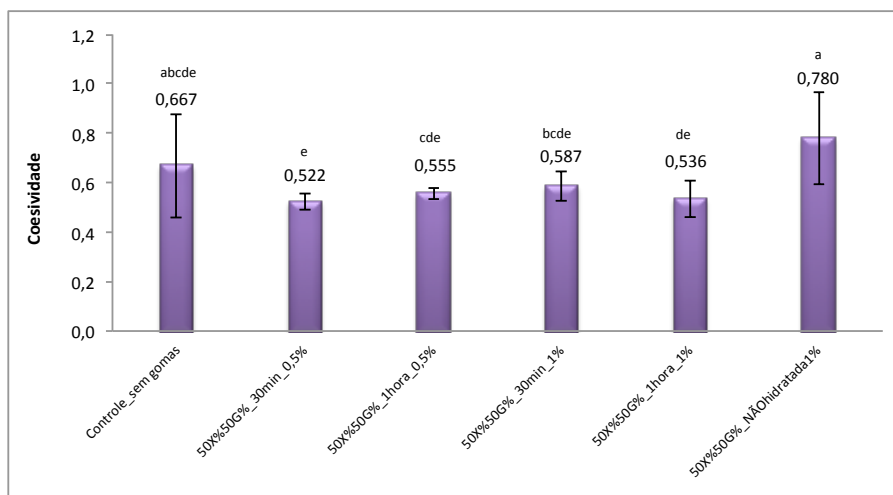


Figura 39. Coesividade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Verifica-se que todas as massas obtidas com 0.5% e 1% (m/m) gomas previamente hidratadas apresentam valores de coesividade significativamente ($p < 0,05$) inferiores em relação à massa obtida com as gomas não hidratadas 1% (m/m). Esta redução de coesividade poderá constituir uma manifestação da alteração geral das características de textura da massa. Contudo, para as duas concentrações totais de gomas estudadas não se verificam diferenças significativas de coesividade em função do tempo de hidratação. De notar que a coesividade não se mostrou um parâmetro muito importante na discriminação das características de textura das massas, apresentados no estudo anterior.

Na Figura 40 resumem-se os resultados da elasticidade das massas obtidos a partir do TPA, com 0.5% e 1% (m/m), em diferentes tempos de hidratação, em relação à formulação obtida com 1% (m/m), mas sem hidratação prévia.

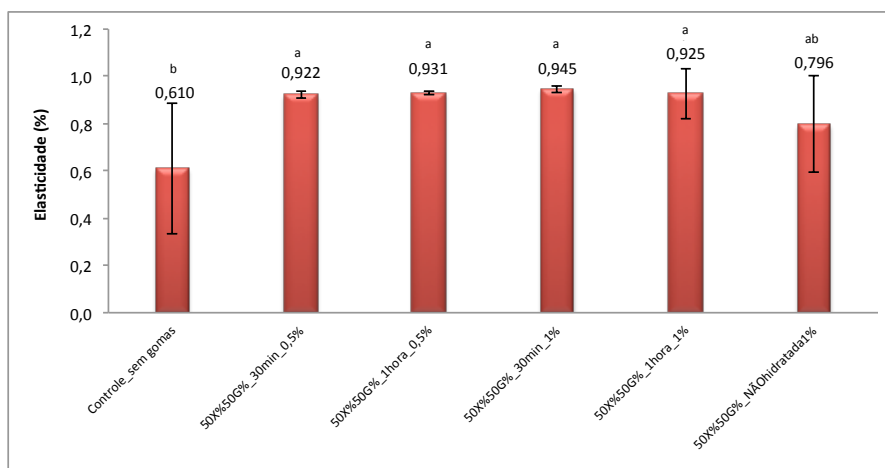


Figura 40. Elasticidade das massas, obtidas por TPA, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Verifica-se que todas as massas obtidas com 0.5% e 1% (m/m) gomas previamente hidratadas não apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$) em relação à massa obtida com as gomas não hidratadas 1% (m/m). Todas as massas obtidas com 0.5% e 1% (m/m) gomas previamente hidratadas foram significativamente ($p < 0.05$) mais elásticas do que a formulação controle (sem adição de gomas).

3.2.4 Teste de Compressão das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

Na Figura 41 apresentam-se os resultados obtidos pelo teste de compressão, expressos em termos da firmeza das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas sujeitas a diferentes tempos de hidratação, comparando-se a sua firmeza com a das formulações obtidas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas e sem gomas (controle).

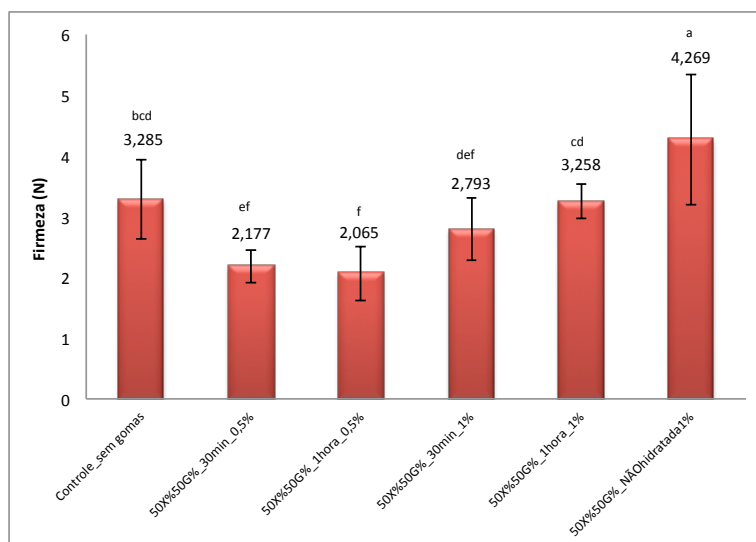


Figura 41. Firmeza das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Tal como se observou no teste de TPA, verifica-se que as massas obtidas com as gomas previamente hidratadas são significativamente ($p < 0,05$) menos firmes do que a massa obtida a partir da mistura de gomas não hidratada 1% (m/m) - a força máxima das massas obtidas com as gomas hidratadas é significativamente ($p < 0,05$) inferior à força máxima da massa obtida sem hidratação prévia das gomas. Verifica-se ainda que para uma mesma concentração de gomas estudadas, o aumento do tempo de hidratação não promoveu alterações significativas na firmeza das massas, tal como já se tinha verificado nos testes anteriores.

No que se refere ao teor total de gomas utilizado, observa-se que para o tempo de hidratação de 30 minutos não há diferenças significativas entre a firmeza das massas com 0,5 e 1% (m/m) de gomas, contudo ao considerar o tempo de hidratação de 1 hora a massa com 1% (m/m) de gomas apresenta uma firmeza significativamente ($p < 0,05$) maior.

Na Figura 42 resumem-se os resultados da elasticidade das massas obtidas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas previamente hidratadas (30 e 60 minutos), em comparação com a formulação de gomas não hidratadas com uma concentração total de goma de 1% (m/m) e a formulação sem gomas (controle).

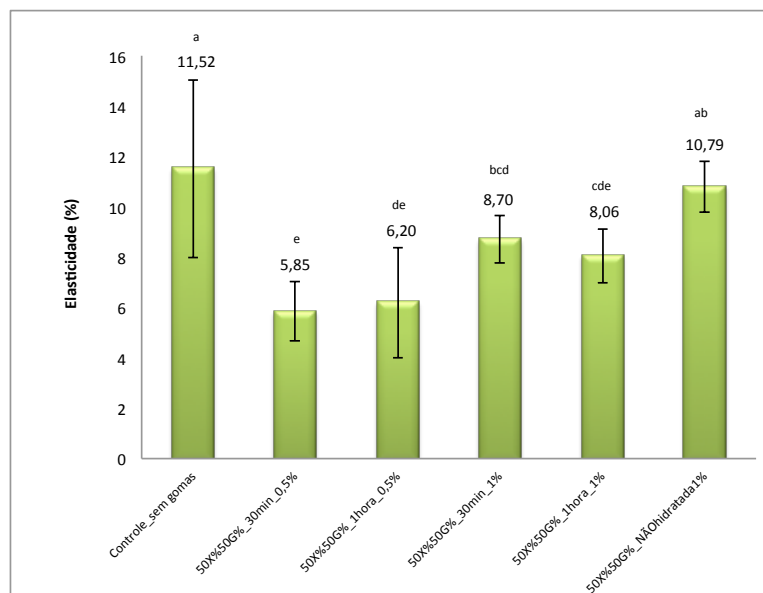


Figura 42. Elasticidade das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A elasticidade obtida pelo teste de compressão é um parâmetro que permite discriminar bem as diferentes massas, tal como se verificou no estudo anterior.

Para uma mesma concentração de gomas verifica-se que ao aumentar o tempo de hidratação das massas não se observam diferenças significativas ($p < 0,05$) na elasticidade. No entanto, as massas com 0,5% (m/m) de gomas hidratadas apresentam uma redução significativa ($p < 0,05$) na elasticidade em comparação as massas com 1% (m/m) de gomas hidratadas.

3.2.5 Teste de Compressão dos pães obtidos com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

A Figura 43 apresenta os resultados da firmeza dos pães obtidos com incorporação de 0.5% e 1% (m/m) de gomas, com dois tempos de hidratação (30 e 60 min), bem como a comparação com a firmeza do pão obtido com 1% (m/m) de goma não hidratada e sem a adição de gomas (controle).

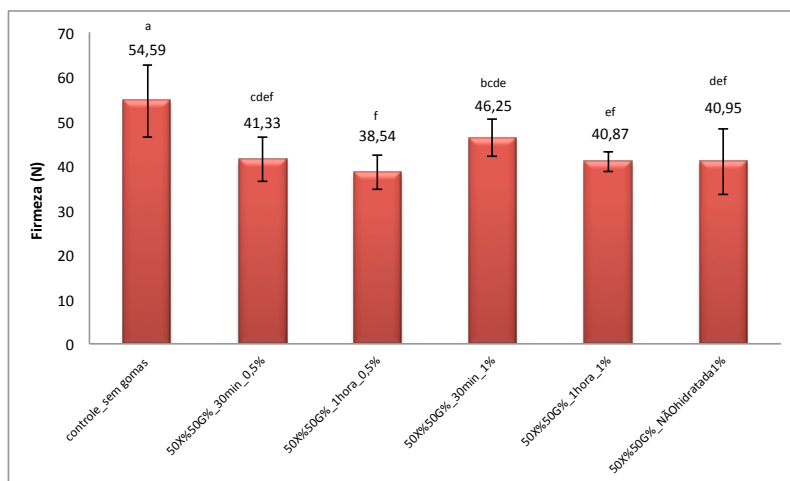


Figura 43. Firmeza dos pães, obtida por teste de compressão, com 0.5% e 1% (m/m) gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Verifica-se que a hidratação prévia das gomas não tem efeito significativo ($p < 0,05$) na firmeza do miolo do pão em relação as gomas não hidratadas. Este resultado não está de acordo com os resultados obtidos para as respectivas massas. Assim, o impacto da hidratação parece fazer-se sentir essencialmente nas características de textura das massas e não tanto nas características do produto final. É de salientar que os resultados apresentados foram obtidos após 24 horas de preparação do pão, assim como no estudo anterior, o que poderá ter contribuído para uma falta de discriminação da firmeza das amostras, nas condições escolhidas para o ensaio.

Verifica-se também que a firmeza do miolo do pão não variou significativamente ($p < 0,05$) para as duas concentrações totais de gomas estudadas e nem para os dois tempos de hidratação, pelo que a menor concentração de gomas estudada (0,5%, m/m) permite obter um produto final com um menor custo associado.

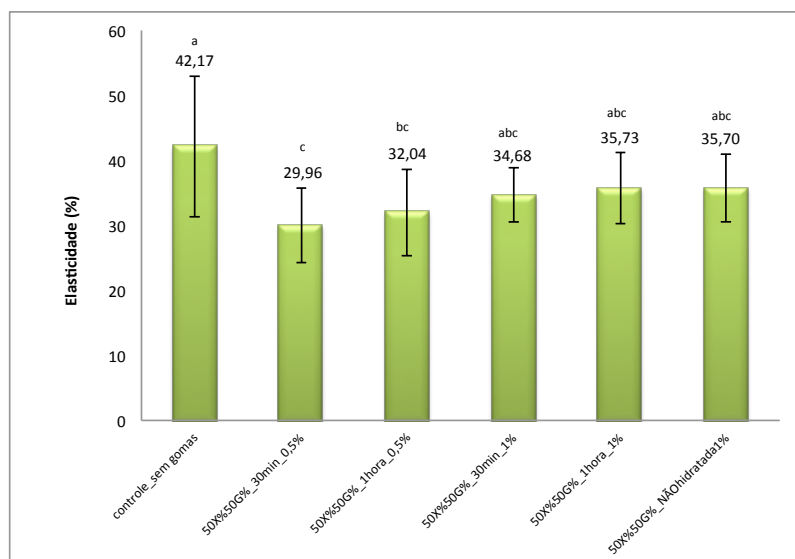


Figura 44. Elasticidade dos pães, obtida por teste de compressão, com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

O parâmetro de elasticidade dos pães, também obtido pelo teste de compressão, não permite discriminar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as formulações com as gomas previamente hidratada, e nem em relação ao pão com 1% (m/m) de gomas sem hidratação.

Assim, a redução do teor total de gomas (de 1% para 0,5%) previamente hidratadas também não alterou significativamente ($p < 0,05$) a elasticidade do pão, obtida a partir do teste de compressão, pelo que se deverá utilizar a concentração mínima.

Os valores obtidos a partir do teste de compressão para a firmeza e elasticidade do pão, indicam que a formulação a utilizar, caso se pretenda realizar uma hidratação prévia, deverá ter a menor concentração total de gomas estudada (0,5% m/m) e o menor tempo de hidratação estudado (30 min).

3.2.6 Cor do miolo dos pães com as gomas hidratadas

No Quadro 9 resumem-se os parâmetros resultantes da avaliação instrumental da cor - L^* e das coordenadas cromáticas a^* e b , obtidos para o miolo do pão com concentração de 0,5 e 1% (m/m) de concentração total de goma, tendo sofrido hidratação prévia, efetuando-se também a comparação com o miolo do pão com concentração de 1% (m/m) - gomas não hidratadas.

Quadro 9. Valores obtidos do parâmetro L* e das coordenadas cromáticas a* e b* da análise das amostras do miolo dos pães com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

* As diferentes letras minúsculas localizadas junto a cada valor representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

Formulação	L *	a (-)*	b (+)*
Controle_sem gomas	69,06 ^f	- 1,48 ^d	+ 27,83 ^a
50X%50G%_30min_1%gomas	73,57 ^{bcdef}	- 2,20 ^{abc}	+27,31 ^a
50X%50G%_60min_1%gomas	72,59 ^{cdef}	- 2,04 ^c	+26,63 ^a
50X%50G%_30min_0,5%gomas	71,83 ^{ef}	- 2,48 ^a	+27,38 ^a
50X%50G%_60min_0,5%gomas	72,59 ^{def}	- 2,52 ^a	+27,79 ^a
50X%50G%_NÃOhidratada_1%	85,96 ^a	- 2,06 ^{bc}	+27,53 ^a

Verifica-se que em relação ao parâmetro de luminosidade (L*), todas as formulações de pão obtidas com as gomas hidratadas foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) da formulação com as gomas não hidratadas.

A formulação com as gomas não hidratadas apresentou um valor médio de L* (85,96%) significativamente ($p < 0,05$) superior ao obtido para o miolo de pão resultante das formulações com as gomas hidratadas. Contudo, verifica-se que o parâmetro L* não variou significativamente ($p < 0,05$) para as duas concentrações totais de gomas estudadas e nem com o tempo de hidratação das mesmas. Em geral, os valores de L* mais elevados, indicando um miolo com uma coloração mais clara.

Em relação aos parâmetros de cromaticidade (a* e b*), foi possível verificar que todas as formulações se apresentaram uma localização no espaço de cor nas regiões do verde e do amarelo, que correspondem a valores negativos para a coordenada a* e positivos para a coordenada b*.

3.3 Análise do envelhecimento do pão

Nas Figuras 45 (a) e (b) estão apresentados os resultados das curvas de envelhecimento do pão, em termos dos parâmetros de firmeza e elasticidade da formulação com 0,5% (m/m) de gomas (em proporções iguais) previamente hidratadas durante 30 minutos, obtida pelo teste de compressão.

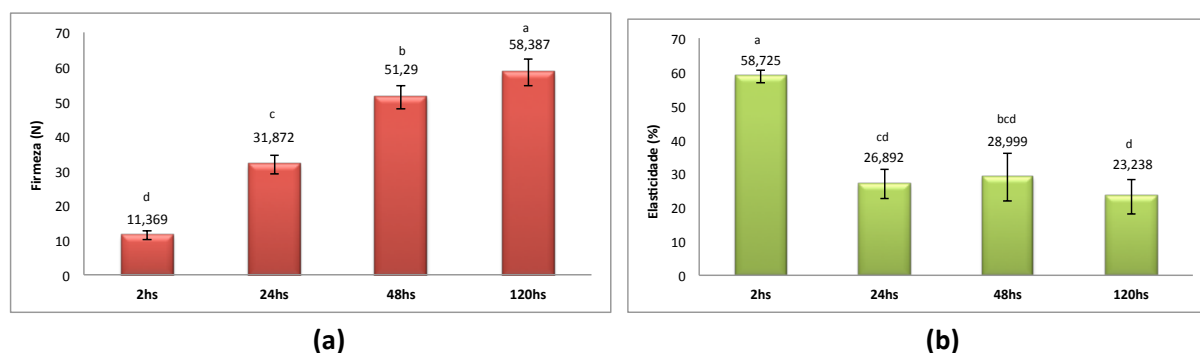


Figura 45. Influência do tempo de armazenamento na firmeza (a) e elasticidade (b) dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação com 0,5% (m/m) de gomas previamente hidratadas durante 30min.

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A partir da Figura 45 (a) verifica-se um aumento significativo ($p<0,05$) da firmeza do pão durante as 120hs após a preparação. Contudo, observa-se um aumento mais expressivo da força para a compressão do pão durante as primeiras 48hs. Entre 48hs e 120hs após a preparação do pão, houve um aumento da firmeza, contudo menos expressivo.

Na Figura 45 (b) verifica-se uma redução significativa da elasticidade do pão entre as 2hs e 24hs após a preparação. No entanto, não se verificam diferenças significativas ($p<0,05$) de elasticidade entre as 24hs e 120hs.

O fato de as alterações mais significativas da firmeza do pão se registarem das 2hs para as 24hs de preparação pode levantar algumas questões sobre a metodologia utilizada ao longo do trabalho que se baseou na avaliação da textura após 24hs de preparação dos pães. Para clarificar tal fato, fizeram-se curvas de envelhecimento do pão com igual proporção de gomas (50% de cada) e uma concentração total de 0,5% (m/m) sem hidratação prévia, bem como do pão controle (sem adição de gomas). Os resultados encontram-se resumidos nas Figuras 46 e 47.

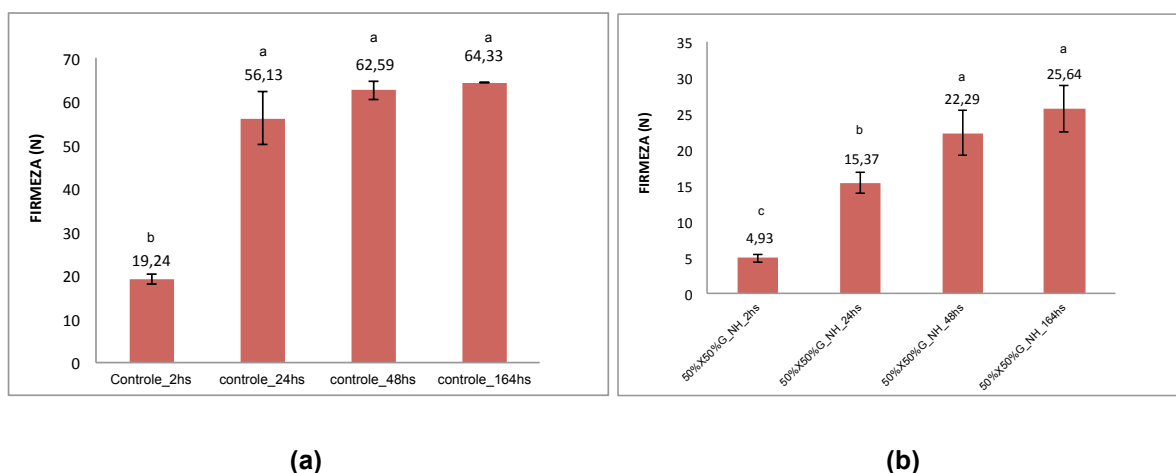


Figura 46. Influência do tempo de armazenamento na firmeza dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação controle (sem adição de gomas) – (a) e com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas (NH) - (b).

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p\leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

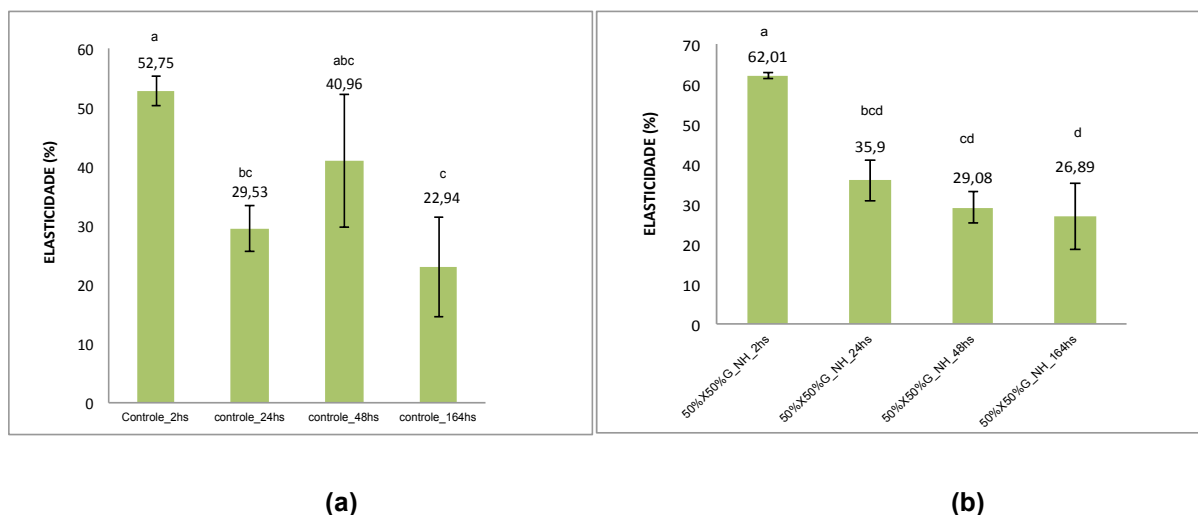


Figura 47. Influência do tempo de armazenamento na elasticidade dos pães, obtida por teste de compressão, a partir de uma formulação controle (sem adição de gomas) - (a) e com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas (NH) (b).

* As diferentes letras minúsculas localizadas acima de cada barra representam a diferença significativa entre as formulações ($p \leq 0.05$), de acordo com a ANOVA.

A partir da Figura 46(a) verifica-se que o pão sem incorporação de gomas (controle) apresenta um aumento significativo ($p < 0,05$) da firmeza durante as primeiras 24hs. Entre 24hs e 164hs após a preparação do pão, não se verificam diferenças significativas ($p < 0,05$) de firmeza. Na Figura 46(b) verifica-se que o pão enriquecido com gomas (0,5 % m/m de concentração total, com igual proporção das duas gomas e sem hidratação prévia) apresenta um aumento significativo ($p < 0,05$) da firmeza durante as primeiras 48hs. No entanto, não se verificam diferenças significativas ($p < 0,05$) da firmeza entre as 48hs e 164hs após a preparação.

O aumento de firmeza do pão sem gomas (controle) após 2hs de preparação para as 24hs foi de 65%, enquanto no pão com adição de gomas sem prévia hidratação esse aumento foi de 67%. Ou seja, o perfil de envelhecimento é idêntico, contudo o pão sem gomas (controle) é logo produzido com uma firmeza mais elevada. Assim, parece evidente que os hidrocolóides utilizados têm a capacidade para retardar o endurecimento do pão, sugerindo que eles interferem com a gelatinização do amido e provocam uma possível inibição da retrogradação do amido; possivelmente os hidrocolóides limitam ambos, a difusão e a perda de água do miolo do pão. Investigadores (Guarda, *et al.*, 2004) referem que quanto maior for a capacidade de retenção de água dos hidrocolóides, maior será essa interferência.

Em geral, a firmeza do miolo do pão aumentou com o tempo de armazenamento. Este endurecimento é esperado como resultado do fenómeno de retrogradação do amido. Tal como referido por outros autores (Williams, 2007; Coultate, 2002) numa escala de tempo mais longa de envelhecimento (várias horas) as cadeias de amilopectina começam a auto associar-se, caracterizando a segunda fase do endurecimento. A retrogradação do amido é responsável pelo aumento de rigidez e falta de elasticidade na textura do miolo.

Também se verifica que o pão com 0,5% (m/m) de gomas previamente hidratadas após 2hs apresenta uma firmeza muito superior - de 11,36N – em comparação com a firmeza do pão com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas – 4,93N. Aparentemente, com estes resultados pode-se concluir que a não hidratação prévia das gomas melhora a qualidade final do pão. Possivelmente a hidratação prévia, e o estabelecimento de ligações com a água, deixe o hidrocolóide menos disponível para estabelecer interações com as cadeias de amilose, permitindo assim uma maior interação amilose-amilose. Tal facto implica uma alteração importante no processo de gelatinização e retrogradação do amido.

A partir da Figura 47, para ambas as amostras, os pães apresentam uma elasticidade mais elevada após 2hs do cozimento. Contudo, verifica-se uma redução significativa da elasticidade ($p < 0,05$) durante as primeiras 24hs, para o pão controle (sem gomas) - (a) e para o pão com adição de gomas não hidratadas (b).

Para o parâmetro da elasticidade não se observa diferença nos valores do pão com 0,5% (m/m) de gomas previamente hidratadas após 2hs -58,72N – em comparação com o pão com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas – 62,01N.

Os valores obtidos com as curvas de envelhecimento sugerem fortemente que haverá vantagem na não hidratação prévia das gomas e que a utilização de uma percentagem de 0,5% (m/m) de gomas permitirá obter um pão menos firme. No âmbito do presente trabalho já não foi possível introduzir um estudo mais completo que permitisse confirmar estes resultados, mas considera-se que é uma via a explorar posteriormente.

3.4 Comportamento reológico das massas

A Figura 48 apresenta os resultados dos espetros mecânicos das massas obtidas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções. Os resultados são apresentados em termos da variação de G' (módulo elástico) e G'' (módulo viscoso) com a frequência de oscilação. Todos os ensaios foram precedidos de varrimentos de tensão, de modo a garantir que se utilizam tensões oscilatórias contidas no intervalo de viscoelasticidade linear das massas.

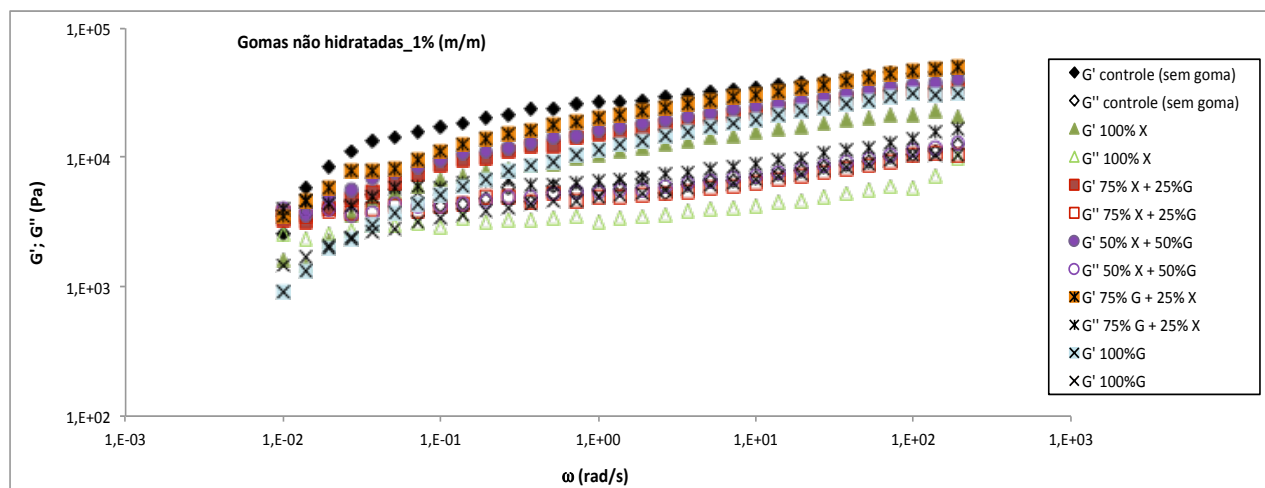


Figura 48. Espectros mecânicos das massas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções.

A partir dos espectros mecânicos das massas obtidas com 1% (m/m) de gomas não hidratadas em diferentes proporções, verifica-se que a componente elástica (G') é sempre superior à componente viscosa (G''), sendo que em todos os casos se verifica uma dependência acentuada dos parâmetros viscoelásticos com a frequência. A diferença de magnitude entre os valores de G' e G'' não chegam a uma década. Este comportamento não se identifica com o de um gel verdadeiro, estando mais próximo de uma estrutura do tipo “gel fraco”.

A adição de gomas à formulação controle implica uma diminuição do grau de estruturação das massas, que para o caso das gomas isoladas, quer das misturas.

A massa com incorporação de 100%X é o sistema menos estruturado, uma vez que apresenta valores mais baixos das funções viscoelásticas (G' e G'') e uma tendência aparente para o cruzamento destas funções a baixas frequências (zona pseudoterminal). A formulação com 100%G apresenta um comportamento idêntico, com um grau de estruturação também reduzido.

No caso das formulações com proporções intermédias das duas gomas - 25%X + 75%G e 50%X + 50%G – as mesmas apresentam um maior grau de estruturação (G' e G'' mais elevados), em comparação com as formulações obtidas com as gomas isoladas. Não se regista, no entanto, um comportamento muito distinto entre estas duas formulações (25%X + 75%G e 50%X + 50%G). As formulações com a mistura de gomas dão origem a massa com um maior grau de estruturação do que quando se utilizam as gomas isoladas, podendo indicar um efeito sinérgico entre estas gomas na formação da estrutura. Este resultado pode ser explicado pelo efeito espessante das galactomananas, como a goma guar, quando dissolvida em água fria, é capaz de interagir com a goma xantana para formar ou para fortalecer estruturas tridimensionais estáveis (Phillips e Williams, 2000).

A Figura 49 apresenta os resultados dos espectros mecânicos das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min) em relação à formulação de gomas não hidratadas 1% (m/m) e à formulação controle (sem adição de gomas).

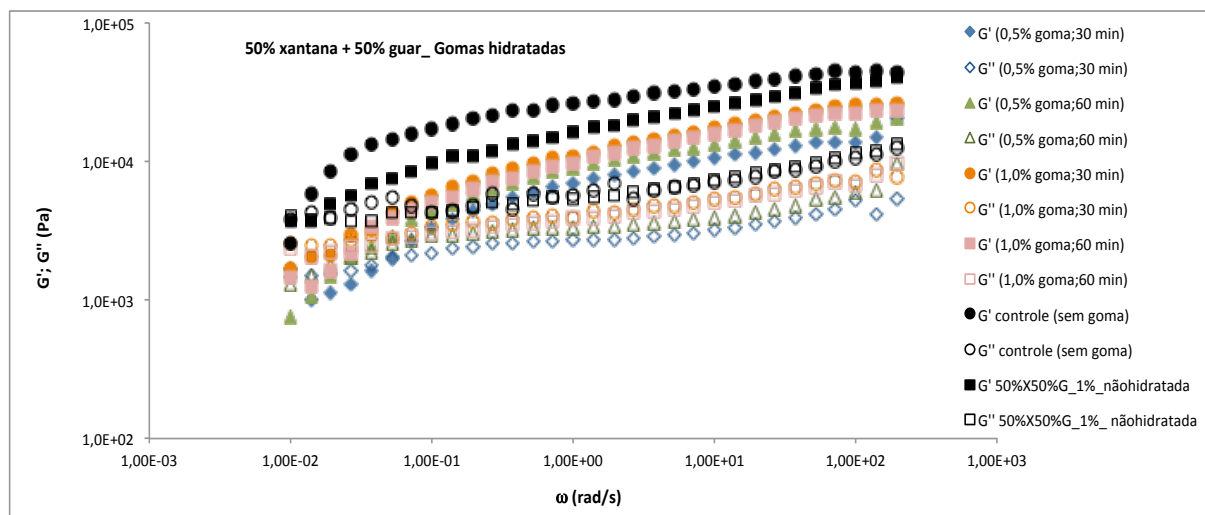


Figura 49. Espectros mecânicos das massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas com dois tempos de hidratação (30 e 60 min)

Tal como se observou no estudo das gomas não hidratadas, todas as formulações apresentam um nível de estruturação inferior ao da massa controle (sem adição de goma), manifestado por menores valores das funções viscoelásticas lineares (G' e G'') e por um aumento do grau de dependência dessas funções com a frequência. A adição de gomas implica uma alteração do comportamento reológico das massas, traduzindo-se pela obtenção de sistemas menos estruturados, isto é, a malha que se forma tem um grau de estruturação inferior ao do controle.

Verifica-se que o processo de hidratação prévia das gomas se traduz por uma diminuição de grau de estruturação das massas para todas as condições de estudo. Ou seja, todas as massas com 0.5% e 1% (m/m) de gomas, com diferentes tempos de hidratação prévia, têm valores de G' e G'' inferiores ao da massa 50%X + 50%G com 1% (m/m) de gomas não hidratadas. Tal fato deverá resultar da hipótese da hidratação prévia, e o estabelecimento de ligações com a água, deixe o hidrocolóide menos disponível para estabelecer as interações hidrocolóides-amilose, possivelmente responsáveis pelo aumento de grau de estruturação das massas.

Neste estudo verifica-se que a massa com 0.5% (m/m) de gomas com 30 minutos de hidratação é o sistema menos estruturado. Muito embora o tempo de hidratação não alterasse de modo muito visível o tipo de estrutura que se forma, não sendo justificável o prolongamento da hidratação para além dos 30 minutos.

Verifica-se que as massas com 1% (m/m) de gomas apresentaram sistemas com graus de estruturação mais elevados, independentemente do tempo de hidratação prévia. Como anteriormente referido, elevados teores de gomas originam sistemas que se aproximam mais de uma estrutura do tipo “gel fraco”. Contudo, essa estrutura não favorece as características do produto final.

4 CONCLUSÕES GERAIS

No trabalho realizado verificou-se que a utilização dos hidrocolóides, goma xantana e goma guar, para a produção de pães isentos de glúten tem implicações nas propriedades físicas das massas (comportamento reológico e textura) e dos pães respectivos (textura e cor).

Na primeira fase do estudo, verificou-se que os pães com adição das gomas, em diferentes proporções, apresentam uma estrutura interna mais homogênea e com uma distribuição de alvéolos mais uniforme, em comparação com o pão controle (sem adição de gomas). Verificando-se também que as formulações com a mistura das duas gomas originam pães com uma estrutura mais agradável e com maior volume, em comparação as formulações com os pães obtidos com as gomas adicionadas isoladamente. A formulação com igual proporção das duas gomas (50%X+50%G) apresentou características físicas mais interessantes, destacando-se o fato de apresentar um miolo com uma coloração mais clara (valores de L^* significativamente mais elevados).

Em relação às propriedades reológicas das massas, a adição de gomas associadas ou isoladas implica uma diminuição do grau de estruturação das massas, comparativamente à massa controle (sem adição de gomas). Verifica-se ainda que a massa com 100% xantana corresponde ao sistema menos estruturado (G' e G'' mais baixos), seguido pela formulação com 100% guar. As formulações com misturas de gomas são mais estruturadas, não havendo um comportamento muito distinto entre as massas com diferentes proporções de goma, prevê-se assim um efeito sinérgico entre as duas gomas na formação da estrutura da massa.

O efeito da hidratação prévia das gomas (concentração total de gomas de 1% (m/m), na proporção de 1:1) não demonstrou ter implicações significativamente positivas na produção das massas nem nas características finais do pão, sendo por isso uma etapa desnecessária na produção do tipo de pães em estudo. Tal fato, simplifica o processo caseiro de produção do pão.

Numa segunda fase, verificou-se que a redução da concentração total de gomas de 1% para 0,5% (m/m), independentemente do tempo de hidratação, permitiu a obtenção de pães com uma estrutura interna mais aceitável. Embora no âmbito deste trabalho não tenha sido possível confirmar este fato com estudos mais aprofundados, há fortes indícios que levam a crer que seria a formulação que permitiria obter pães com mais qualidade. Para além disso, não havendo evidências claras dos efeitos de uma concentração mais elevada (1%) tenha benefícios reais no pão obtido, ao diminuir a concentração de goma, consegue-se reduzir o custo total da formulação otimizada.

No que se refere ao envelhecimento dos pães isentos de glúten, verificou-se que o pão com uma concentração total de gomas de 0,5% (m/m) previamente hidratada, após 2hs apresenta uma firmeza muito superior - de 11,36N - em comparação com a firmeza do pão com 0,5% (m/m) de gomas não hidratadas - 4,93N. Em geral, a firmeza do miolo do pão aumentou com o tempo de armazenamento, tal como acontece com os pães convencionais. Verifica-se que o aumento mais acentuado das propriedades de textura ocorre das 2hs de armazenamento para as 24hs.

Os valores obtidos com as curvas de envelhecimento sugerem fortemente que haverá vantagem na não hidratação prévia das gomas e que a utilização de uma percentagem de 0,5% (m/m) de gomas em proporções iguais 1:1 permitirá obter um pão menos firme. No âmbito do

presente trabalho já não foi possível introduzir um estudo mais completo que permitisse confirmar estes resultados, mas considera-se que é uma via a explorar posteriormente.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Com a realização deste trabalho atingiu-se o principal objetivo que era contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de estudo e obter resultados que permitissem desenvolver uma formulação de pão que possa ser feita em casa, com um processo tecnologicamente simples, a um baixo custo e que permita aos doentes celíacos consumirem o pão de uma forma regular sem os elevados custos, que estão normalmente associados a este tipo de produto. Porém, outros temas de investigação podem ser futuramente considerados:

- Otimização da formulação final do pão, nomeadamente no que diz respeito à concentração de gomas, tendo em conta o seu impacto no processo de gelatinização do amido.
- Utilização de outras misturas de farinhas, como as farinhas de mandioca, castanha e respetivos amidos;
- Utilização de outras gomas, como a carboximetilcelulose e o κ -carragenato, com capacidades de retenção de água intermédias, em relação às estudadas;
- Avaliação das características sensoriais com a colaboração da APC (Associação Portuguesa dos Celíacos), recorrendo a um painel de consumidores celíacos;

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMILHO. Associação Brasileira das Indústrias do Milho (2001). Disponível em <<http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>> Acesso em: 25 de Novembro de 2011.
- ACELBRA. Associação dos Celíacos do Brasil (1982). Receitas sem Glúten. Disponível em <http://www.acebra.org.br/2004/receitas_sem_gluten.php> Acesso em: 10 de Outubro de 2011.
- AGA Institute - American Gastroenterological Association Institute Technical (2006). **Review on the on the Diagnosis and Management of Celiac Disease**. Gastroenterology 131: 981–2002.
- Alves, M.M. (2003). **A Reologia**. In: A Química e a Reologia no Processamento de Alimentos. A. Gomes de Castro, pp. 39-61. Instituto Piaget, Lisboa.
- Antunes, H., Abreu, I., Nogueiras, A., Sá, C., Gonçalves, C., Cleto, P., Garcia, F., Alves, A., Lemos, D. (2006). **Primeira determinação de prevalência de doença celíaca numa população portuguesa**. Acta Med Port 19 : 115-120.
- APC. Associação Portuguesa dos Celíacos (2011). Revista Sem Glúten. 29nd Ed.
- Araújo, W.M.C., et al (2009). **Alquimia dos Alimentos**. Senac, Brasília, Brasil.
- Arendt, E.K., Morrissey, A., Moore, M.M., e Bello, F.D (2008). **Gluten-free Breads**. In: Gluten-free Cereal Products and Beverages, pp. 289 -311. Elke K. Arendt e Fabio Dal Bello, Elsevier, 1nd Ed., Oxford, U.K.
- Bourne, M. (1982). **Food Texture and Viscosity**. Academic Press, 2nd Ed., Londres, U.K.
- Caja, S., Maki, M., Kaukinen, K., e Lindfors, K. (2011). **Antibodies in celiac disease: implications beyond diagnostics**. Cellular & Molecular Immunology 8: 103–109.
- Canella-Rawls, S. (2003). **Pão: arte e ciência**. Senac, São Paulo, Brasil.
- Casas, J.A., e García-Ochoa, F. (1999). **Viscosity of solutions of xanthan/locust bean gum mixtures**. Journal of the Science of Food and Agriculture 79: 25-31.
- Chawla, R., e Patil, G. R. (2010). **Soluble dietary fiber**. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9: 178-196.
- Comissão Europeia. Regulamento (CE) n° 41/2009 de 20 de janeiro de 2009 relativo à composição e rotulagem dos géneros alimentícios adequados a pessoas com intolerância ao glúten. Disponível em <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:016:0003:0005:PT:PDF>> Acesso em: 25 de novembro de 2011.

Coulter, T.P. (2002). **Food the Chemistry of its Components**. The Royal Society of Chemistry, 4th Ed., Cambridge, U.K.

Crockett, R., Le, P., Vodovotz, Y. (2011). **How Do Xanthan and Hydroxypropyl Methylcellulose Individually Affect the Physicochemical Properties in a Model Gluten-Free Dough?** Journal of Food Science 76: 274-282.

Cubero, N., Monferrer A., Villalta J. (2002). **Aditivos Alimentarios**. Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S. (2010). **Rheological properties of gluten-free bread formulations**. Journal of Food Engineering 96: 295–303.

Dobraszczyk, B.J., Grant, M., Campbell, G., Z. (2001). **Bread: A unique food**. In: D.A.V. Dendy, B.J. Dobraszczyk, Cereals and cereal products: chemistry and technology. (pp. 182-232). Aspen Publications, Gaithersburg, MD.

EFSA. European Food Safety Authority. Food Additives. Disponível em <<http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/additives.htm>> Acesso em: 6 de janeiro de 2012.

EMBRAPA Milho e Sorgo. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho (2006). Disponível em <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/pubonline.php>> Acesso em: 12 de dezembro de 2011.

Exerowa, D., e Kruglyakov, P.M. (1998). **Foam and Foam Films: Theory, Experiment, Application**, 1st Ed, Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2000). **Rice Information**. Disponível em <<http://www.fao.org>> Acesso em: 20 de Novembro de 2011.

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. **Codex Alimentarius**. Disponível em <<http://www.codexalimentarius.org/>> Acesso em: 13 de fevereiro de 2012.

Fasano, A., Araya, M., Bhatnagar, S., Cameron, D., Catassi, C., Dirks, M., Mearin, M.L., Ortigosa, L., Phillips, A. (2008). **Federation of International Societies of Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition Consensus Report on Celiac Disease**. Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition 47: 214-219.

Fasano, A., Berti, I., Gerarduzzi, T., et al. (2003). **Prevalence of Celiac Disease in At-Risk and Not-At-Risk Groups in the United States: A Large Multicenter Study**. Arch Intern Med. 163: 286-292.

Fasano, A., e Catassi, C. (2001). **Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum**. Gastroenterology 120: 636 – 651.

- Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2003). **Crust and crumb characteristics of gluten free breads**. Journal of Food Engineering 56: 153–161.
- Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2004). **Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products**. Trends in Food Science & Technology 15: 143-152.
- Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., Galotto, M.J. (2004). **Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents**. Food Hydrocolloids 18: 241-247.
- Guerreiro, M., e Mata, P. (2010). **A Cozinha é um Laboratório**. Editora Fonte da Palavra, Lisboa.
- Gujral, H.S., Rosell, C.M. (2004). **Improvement of the bread making quality of rice flour by glucose oxidase**. Food Research International 37: 75-81.
- Hamada, J.S. (1997). **Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization**. Cereal Chemistry 74: 662-668.
- He, H., e Hosney, R.C. (1991). **Gas retention of different cereal flours**. Cereal Chemistry 68: 334-336.
- Heller, L. (2009). **Commercial aspects of gluten-free products**. In: Gluten-free foods science and technology, p. 99-106. Eimear Gallagher (Ed.), Wiley-Blackwell Publishing, 1nd Ed, Oxford, U.K.
- Hill, I.D., Dirks, M.H., Liptak, G.S., et al. (2005). **North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition. Guideline for the diagnosis and treatment of celiac disease in children: recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition**. J Pediatr Gastroenterol Nutr. 40: 1 – 19.
- Hosney, R.C. (1990). **Principles of Cereal Science and Technology**. American Association of Cereal Chemists, p.76-87. St. Paul.
- Hunter, B.T. (1987). **Gluten Intolerance: The Widespread Genetic Defect That Can Cause Arthritis, Enteritis, Schizophrenia, and Other Health Problems**. Keats Publishing, Los Angeles.
- Ibarz, A., e Barbosa-Cánovas G. V. (2005). **Operaciones Unitarias en la Ingeniería de los alimentos**. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- Imenson, A. (2010). **Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents**. Blackwell Publishing, Oxford, U.K.
- Jorge, S.G. (2005). **World Gastroenterology Organisation Practice Guidelines (WGO). Doença Celíaca**. Disponível em <www.worldgastroenterology.org/.../guidelines/celiac_disease_pt.pdf> Acesso em: 20 de Novembro de 2011.

Ju, Z.Y., Hettiarachchy, N.S., Rath, N. (2001). **Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins.** Journal of Food Science 66: 229-232.

Koksel, H. F. (2009). **Effects of xanthan and guar gums on quality and staling of gluten free cakes baked in microwave-infrared combination oven.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Alimentar. Escola Superior de Ciências Naturais e Aplicada, Middle East Technical University. Disponível em < etd.lib.metu.edu.tr/upload/12610410/index.pdf > Acesso em: 20 de maio de 2012.

KPK: Baza Polskich Centrów Doskonałości (1999). **Gluten Structure (200x).** Disponível em < http://www.kpk.gov.pl/centra_doskonosci/coe/z/d/cenexfood_3d.jpg > Acesso em: 12 de dezembro de 2011.

Lafiandra, D., Masci, S., e D'ovidio R. (2004). **The gluten proteins.** The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Lai, L.S., Liu, Y.L., Lin, P.H. (2003). **Rheological/textural properties of starch and crude hsian-tsao leaf gum mixed systems.** Journal of the Science of Food and Agriculture 3: 1051-1058.

Lamontagne, P., West, G., Galibois, I. (2001). **Quebecers with celiac disease: analysis of dietary problems.** Can J Diet Pract Res 62: 175–181.

Layton, J.M. e Larsen, L. (2012). **Gluten-Free Baking For Dummies.** John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. (2007). **Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.** Journal of Food Engineering 79: 1033-1047.

Leffler, D.A., Edwards-George, J., Dennis, M., Schuppan, D., Cook, F., Franko, D.L., Blom-Hoffman, J., Kelly, C.P. (2008). **Factors that influence adherence to a gluten-free diet in adults with celiac disease.** Dig Dis Sci. 53: 1573-81.

Legislação Portuguesa. Portaria nº 425/98 de 25 de Julho relativa a fixação das características do pão e às suas condições de fabrico. Disponível em <www.dre.pt/.../dr1s.exe?...Portaria...> Acesso em: 25 de Novembro de 2011.

Lopes, C., Oliveira, A., Santos, A., et al. (2006). **Consumo Alimentar no Porto.** Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Porto.

Matuda, T. G. (2008). **Estudo do congelamento da massa de pão: determinação experimental das propriedades termofísicas e desempenho de panificação.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em

<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/...17112008.../Matuda_2008.pdf> Acesso em: 10 de Março de 2012.

Miller, R.A, e Hosene, R.C. (1993). **The Role of Xanthan Gum in White Layer Cakes**. Cereal Chemists 70: 585-588.

Mcguire, R.G. (1992). **Reporting of objective color measurements**. Horticultural Science 27: 1254-1255.

Morais, J.L. (2001). **Noções Básicas de Reologia**. In: Reologia e suas Aplicações Industriais. Alberto Gomes de Castro, p. 9-46, Instituto Piaget, Lisboa.

Morris, E.R., Rees, D.A., Robinson, G., e Youno, G.A. (1980). **Competitive inhibition of interchain interactions in polysaccharide systems**. J. Mol. Biol 138: 363-374.

Morris, V.J. (1990). **Science, structure and applications of microbial polysaccharides**. In: Gums and Stabilizers for the Food Industry. Phillips, G.O., Williams, P.A. & Wedlock, D.J. (Eds.), pp. 315-328, IRL Press, Oxford.

Murray, J.A., Watson, T., Clearman, B., Mitros, F. (2004). **Effect of a gluten-free diet on gastrointestinal symptoms in celiac disease**. Am J Clin Nutr 79: 669–73.

Pedro, N., Lopes, S., Szantho, A., Costa, A., Moura, J.J. (2009). **Doença Celíaca - revisão de conceitos e novos desenvolvimentos**. Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Interna 16: 62-68.

Phillips, G.O., e Williams, P.A. (2000). **Handbook of Hydrocolloids**. Woodhead Publishing, Cambridge.

Preichardt, L.D., Vendruscolo, C.T.,Gularte, M.A., Moreira, A.S. (2011). **The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: improved bakery products for coeliac patients**. International Journal of Food Science & Technology 46: 2591-2597.

Rocheffort, W.E., e Middleman, S. (1987). **Rheology of Xanthan Gum: Salt, Temperature, and Strain Effects in Oscillatory and Steady Shear Experiments**. Journal of Rheology 31: 337-369.

Rocks, J. K. (1971). **Xanthan gum**. Food Technology 25: 22-31.

Rocks, J. K. (1971). **Unusual rheological properties and heat, acid, and salt stabilities make glucose-derived hydrocolloid a versatile food additive**. Food Technology 25: 476-484.

Rodge, A.B., Sonkamble, S.M., Salve, R.V., Syed, I.H. (2012). **Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread**. J Food Process & Technology 3: 1-7.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., Benedito de Barber, C. (2001). **Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality**. Food Hydrocolloids 15: 75-81.

Sanderson, G. R. (1992). **The functional properties and applications of microbial polysaccharides - a supplier's view**. In: Gums and Stabilizers for the Food Industry. Phillips, G.O., Williams, P.A. & Wedlock, D.J. (Eds.), pp. 333-343, IRL Press, Oxford.

Sanderson, G. R. (1996). **Gums and their use in food systems**. Food Technology 50: 81-84.

Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E., Pérez, G.T. (2008). **Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality**. Food and Bioprocess Technology 3: 577-585.

Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E., Pérez, G.T. (2010). **Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality**. International Journal of Food Science and Technology 45: 2306-2312.

Silva, J.A.L., e Rao, M.A. (1992). **Viscoelastic Properties of Food Hydrocolloid Dispersions**. In: Viscoelastic properties of foods. Rao M.A. Steffe, J.F. (Eds.), pp. 285-315, Elsevier Applied Science, U.K.

Sousa, I. M.N. (2001). **A Reologia dos Produtos Alimentares**. In: Reologia e suas Aplicações Industriais. A. Gomes de Castro, J. A. Covas e A. C. Diogo. Instituto Piaget, pp. 131-157, Lisboa.

Tedrus, G. A. S.; Ormenese, R. C. S. C.; Speranza, S. M.; Chang, Y. K.; Bustos, F. M. (2001). **Estudo da adição de vital gluten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães**. Ciência e Tecnologia dos Alimentos 21: 20-25.

Tubari, E., Sumnu, G., Sahin, S. (2008). **Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend**. Food Hydrocolloids 22: 305-312.

Vaclavik, V.A., e Christian, E.W. (2008). **Essentials of Food Science**. 3rd Ed, pp. 311-327. Springer Science, New York, USA.

Vickery, P. (2010). **Gluten-Free Baking**. Kyle Cathie Limited, 1nd Ed., London, U.K.

Vitoria, J.C., Arrieta, A., Arranz, C., Ayesta, A., Sojo, A., Maruri, N., García-Masdevall, M.D. (1999). **Antibodies to gliadin, endomysium, and tissue transglutamine for the diagnosis of celiac disease**. J Pediatr Gastroenterol Nutr 29: 602-608.

Volta, U., e Villanacci, V. (2011). **Celiac disease: diagnostic criteria in progress**. Cellular & Molecular Immunology 8: 96-102.

Wang, F., Wang, Y.J., e Sun, Z. (2002). **Conformational role of xanthan gum in its interaction with guar gum**. Journal of Food Science 67: 3289-3294.

Weber, F. H., Clerici, M.T.P.S., Collares-Queiroz, F. P., Chang, Y. K. (2009). **Interaction of Guar and Xanthan Gums with Starch in the Gels Obtained from Normal, Waxy and High-amylose Corn Starches.** Starch 61: 28-34.

Williams, P.A. (2007). **Handbook of Industrial Water Soluble Polymers.** Blackwell Publishing, Oxford, U.K.

Williams, P.A., Day, D.H., Langdon, M.J., Phillips, G.O., Nishinari, K. (1991). **Synergistic interaction of xanthan gum with glucomannans and galactomannans.** Food hydrocolloids 4: 489-493.

ANEXOS

-ANEXOS-

Atividades realizadas durante o trabalho de preparação e escrita da tese com vista à divulgação do trabalho junto da comunidade científica e do público, em particular dos doentes celíacos.

ANEXO I – Gomas xantana e guar. Pães isentos de glúten: uma contribuição para melhorar o fabrico caseiro (2011). Revista Sem Glúten. 30nd Ed. Associação Portuguesa dos Celíacos (APC).

- Matéria publicada

ANEXO II – II Encontro Nacional de Celíacos, Associação Portuguesa dos Celíacos (APC), Évora, Portugal. Realizado no dia 26 de Novembro de 2011.

- Foto da apresentação

Neste encontro realizou-se uma apresentação oral intitulada «Efeito das gomas xantana e/ou guar na textura de pães isentos de glúten elaborados com farinhas de arroz e milho». O objetivo foi divulgar os resultados preliminares do trabalho para o público celíaco.

ANEXO III - XI Congresso de Nutrição e Alimentação (APN), Porto, Portugal. Realizado nos dias 24 e 25 de Maio de 2012.

- Resumo
- Póster

ANEXO IV - Pão sem glúten: um desafio culinário! A cozinha é um laboratório, no Pavilhão do Conhecimento-ciência viva, Lisboa, Portugal. Realizado no dia 27 de maio de 2012.

- Póster de divulgação
- Fotos da atividade

Esta atividade foi realizada em conjunto com a APC (Associação Portuguesa dos Celíacos), no mês comemorativo da doença celíaca.

A atividade contou com a presença dos associados da APC e frequentadores do pavilhão do conhecimento. O objetivo foi proporcionar uma atividade para a família com questões esclarecedoras sobre diversos temas relacionados com o pão sem glúten. Destacou-se a importância das gomas xantana e guar para a produção de pão isento de glúten.

ANEXO V - XVIth International Congress on Rheology, Lisboa, Portugal. Realizado nos dias 5-10 de Agosto de 2012.

- Resumo
- Póster

ANEXO VI - 11º Encontro de Química dos Alimentos (SPQ), Bragança, Portugal. Realizado nos dias 16 – 19 de Setembro de 2012.

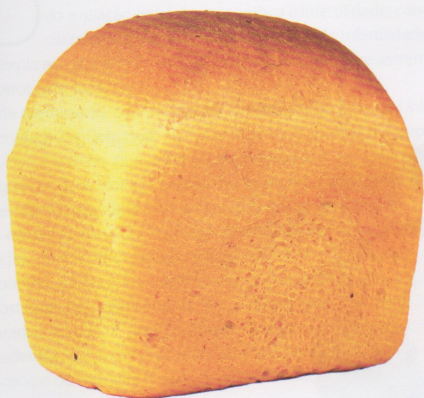
- Resumo

1 INFORMAÇÃO CIENTÍFICA

associação portuguesa de celiacos

GOMAS XANTANA E GUAR

Pães isentos de glúten: uma contribuição para melhorar o fabrico caseiro



A doença celiaca é uma doença digestiva que danifica o intestino delgado em crianças e adultos geneticamente predispostos, precipitada pela ingestão de alimentos contendo glúten. O glúten é uma rede tridimensional elástica formada por proteínas presentes no trigo, no centeio, na cevada, na aveia e nos derivados deste cereais. Os doentes celiacos são intolerantes ao glúten, ou melhor, à proteína gliadina no trigo, hordeína na cevada, secalina no centeio e avenina na aveia.

Estas proteínas conferem às farinhas características que permitem que os pães confeccionados com elas tenham uma textura esponjosa e elástica. Tal acontece porque o glúten permite a retenção do gás (CO_2) formado no processo de fermentação do pão e possibilita o desenvolvimento de um volume adequado e uma textura agradável dos produtos. As farinhas de arroz e milho, muito utilizadas como substitutas da farinha de trigo para a confecção de produtos isentos de glúten, não contêm tais proteínas. Com isto, o desenvolvi-

to de produtos de panificação isentos de glúten torna-se um desafio, porque estes apresentam pouco volume e são mais compactos e firmes, tendo uma textura pouco agradável.

Para minimizar estes problemas, determinadas substâncias podem ser adicionadas à farinha. As gomas xantana e guar, aditivos comuns em muitos produtos alimentares, são usadas com esse objectivo. A goma xantana é produzida por uma bactéria frequentemente presente nas folhas da couve. Já a goma guar é extraída de uma leguminosa. Estas gomas, quando em contacto com a água, formam um gel viscoso e, por isso, são usadas pela indústria alimentar como espessantes, gelificantes, emulsificantes e estabilizantes. Também podem ser utilizadas na confecção de pães e estão disponíveis em lojas nacionais.

No nosso estudo, procurámos otimizar uma receita de modo a avaliar a quantidade e as proporções das gomas a usar, assim como a melhor altura para adicioná-las. Num estudo preliminar, usando uma mistura de farinhas de arroz e milho, formulou-se um pão isento de glúten com o objetivo de avaliar o efeito das gomas xantana e guar na textura das massas e pães. Estudaram-se pães confeccionados de quatro formas: controle – sem xantana e guar, com 3% de guar, com 3% de xantana e com 2% de xantana e 1% de guar. As análises reológicas (que avaliaram a firmeza e a elasticidade) foram conduzidas no Laboratório de Reologia dos Alimentos do Instituto Piaget, em Almada.

Os resultados obtidos mostraram que os pães com gomas adicionadas apresentam uma melhor textura que o pão usado para controle, sendo o melhor resultado o obtido com a mistura xantana mais guar, um pão mais elástico que todos os outros. O estudo será aprofundado e terá uma componente de análise sensorial para avaliar as amostras e determinar a melhor formulação. Para esse estudo gostaríamos de contar com a contribuição dos associados da APC.

Fabiana Botelho – Nutricionista, aluna do Mestrado em Ciências Gastronómicas da FCT/UNL e ISA/UTL.

QUOTA ANUAL APC

Pedimos a sua participação activa no pagamento de quotas em atraso para a concretização dos vários projectos em desenvolvimento. O valor da quota anual de 2011 é de 20€.

O pagamento de quota(s) pode ser efectuado por transferência bancária, cheque ou vale postal. Caso opte pela transferência (NIB: 0010 0000 42779160001 91) solicitamos que nos envie o comprovativo para identificação de pagamento.

ANEXO II



Imagem da comunicação oral do trabalho

Efeito das gomas xantana e guar na textura de pães isentos de glúten elaborados com farinhas de arroz e de milho

F. Botelho², P. Mata², P. Fradinho¹, M. C. Nunes¹, A. Raymundo¹

- ¹. Núcleo de Investigação em Engenharia Alimentar e Biotecnologia, Instituto Piaget – ISEIT, Almada, Portugal
- ². REQUIMTE/CQFB, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica

A doença celíaca é uma patologia digestiva que danifica o intestino delgado em crianças e adultos geneticamente predispostos, causada pela ingestão de alimentos contendo glúten, ou seja, a fração proteica gliadina. O glúten é uma rede tridimensional elástica formada por proteínas presentes no trigo, centeio, cevada e aveia. Durante a fermentação, esta rede proteica auxilia a retenção de gás e permite a produção de pão com uma textura esponjosa e elástica. As farinhas de arroz e milho não contêm frações proteicas que confirmam estas características à massa. Assim, o pão produzido com estas farinhas geralmente tem uma textura muito densa, com aceitação sensorial limitada. No presente estudo, foi avaliado o efeito da adição das gomas xantana e guar na textura do pão produzido com farinhas de milho e arroz.

As formulações foram elaboradas com 360g de uma mistura de farinhas de arroz e de milho (50% em peso de cada), uma mistura das gomas xantana e guar com diferentes proporções numa quantidade total de 0,5 e 1,0% (peso total), levedura liofilizada, sal e água (para se obter um peso total de 694g). A massa foi preparada e colocada numa forma retangular para fermentação (1,5 h num banho a 37 °C). Seguidamente foi cozida num forno ventilado a 180 °C durante 30 min.

Foram avaliados as propriedades físicas do pão - aspetos de forma, atividade de água (aw), e textura. As propriedades de textura foram expressas em termos de firmeza e elasticidade obtidas através de um testes de compressão realizado num texturómetro (Stable Mycrosistems TA-Xt Plus). Foram também avaliadas as propriedades de textura da massa, que se relacionaram com as do pão.

Os resultados demonstram que quando se adicionam as gomas numa proporção de 1,0% do peso total, a mistura com igual quantidade de cada goma é a que apresenta diferenças mais significativas em relação ao controle (sem adição de gomas).

Posteriormente, foi avaliada a influência do teor total de gomas na mistura (0,5% e 1%) nas propriedades físicas do pão e da massa, tendo-se concluído que a formulação com o teor total de 0,5% de gomas originou um pão com características mais adequadas, sendo globalmente menos dispendioso.

Através dos resultados obtidos verificou-se que a utilização de sistemas binários de gomas xantana e guar abrem possibilidades tecnologicamente interessantes para a produção de pão com especial interesse para celíacos.



Efeito das gomas xantana e guar na textura de pães isentos de glúten elaborados com farinhas de arroz e de milho

F. Botelho¹, P. Mata², P. Fradinho³, M. C. Nunes³, A. Raymundo³

1. Instituto Superior de Agronomia/UTL, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa (Portugal); fabianaz@hotmail.com

2. REQUIMTE/CQFB, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa (UNL), 2829-516 Caparica (Portugal)

3. Núcleo de Investigação de Eng. Alimentar e Biotecnologia, Instituto Piaget, Quinta da Arrenhela de Cima, 2800-305 Almada (Portugal)



Introdução

Objetivos

Avaliar o efeito da adição das gomas xantana e guar com a finalidade de melhorar a textura do pão produzido com farinhas de milho e de arroz.

De forma a produzir um pão com boas características organolépticas para ser consumido por doentes celíacos

Doença Celíaca

É uma intolerância permanente às proteínas denominadas coletivamente como glúten dos alimentos, que danificam as vilosidades do intestino.

Glúten

Rede tridimensional elástica formada por proteínas insolúveis presentes nos cereais: **Trigo, Centeio, Cevada e Aveia.**

Durante a fermentação, esta rede proteica auxilia na retenção de gás e permite a produção de pão com uma textura esponjosa e elástica.

Farinhas de Arroz e Milho

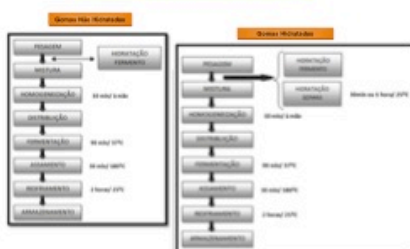
Não contêm as frações proteicas envolvidas na formação do glúten. O pão produzido com estas farinhas é muito denso e com uma aceitação sensorial limitada.

As gomas xantana e guar são adicionadas aos produtos alimentares principalmente pelas suas propriedades espessante e de gelificação

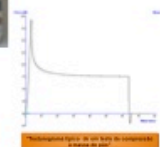
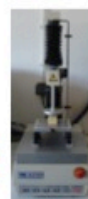


Materiais e Métodos

Fluxogramas de processo de preparo das massas

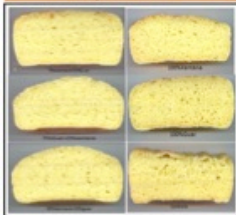


Formulação da massa



Resultados e Discussão

Aspectos de estrutura interna dos pães após 24h de preparo



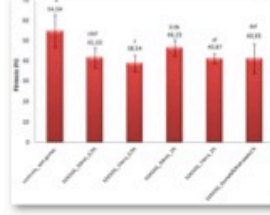
A estrutura interna dos pães com adição de gomas é semelhante. Na formulação 0.5% de xantana o volume global do pão é maior.

Aspectos de estrutura interna dos pães após 24h de preparo



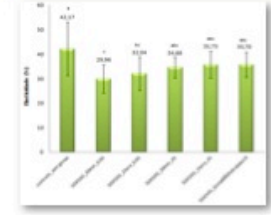
A estrutura interna dos pães com adição de gomas hidratadas apresenta-se análoga, apresentando uma estrutura com a redução da propagação de gomas de 1% para 0.5%, independentemente do tempo de hidratação.

Força dos pães pelo teste de compressão



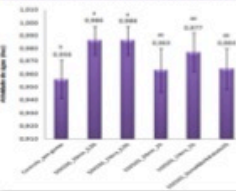
A hidratação prévia das gomas não tem efeito significativo na força final do pão em relação às gomas não hidratadas.

Elasticidade dos pães pelo teste de compressão



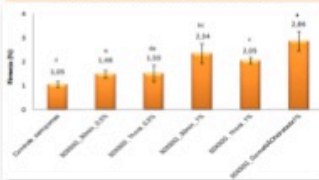
A redução do teor total de gomas (de 1% para 0.5%) praticamente hidratadas não alterou a elasticidade do pão.

Atividade de Água (aw) das massas



Não se verificou diferenças significativas entre as formulações com as gomas hidratadas e a formulação de goma não hidratada.

Força das massas pelo teste TPA



As massas obtidas com a adição de gomas hidratadas não diferem, tanto em relação à massa como à elasticidade das gomas não hidratadas, para os dois tempos de hidratação. Assim, o impacto da hidratação parece fazer-se sentir na facilidade de manuseamento das massas e não tanto nas características do produto final.

Conclusão

Os resultados obtidos indicam que um bom compromisso entre a textura do pão e a facilidade de execução poderá ser conseguida com uma mistura de gomas xantana e guar em partes iguais, usando uma percentagem de 0.5% e sem hidratação prévia. Tal será confirmado com novas faixas de trabalho.

A utilização de sistemas binários de gomas xantana e guar abre possibilidades tecnológicas interessantes para a produção de pão com especial interesse para celíacos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. G. O. and M. H. P. A. Food Science of Hydrocolloids. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2005.
2. Texture - A hydrocolloid recipe collection. V. 2.2. December 2008. Downloaded at: <http://www.hydrocolloids.com>
3. AACC Institute. American Cereal Chemist Association Institute Technical Review on the use of Diagnostics and Management of Celiac Disease. CeliacDisease (2008) v. 1(1), p. 95-102.
4. McCrumb, Food Texture and Viscosity (2nd Edition), Academic Press, 1992.

DOMINGO, 27 DE MAIO

NO PAVILHÃO DO CONHECIMENTO - CIÊNCIA VIVA

LABORATÓRIO

Átrio (Piso 1) | M/6

*Maré Negra** 15h30

O que é uma maré negra? Que efeitos poderá ter no ambiente e, em particular, sobre os seres vivos marinhos? Venha simular um acidente com um navio petroleiro, analisar as suas consequências, e testar diferentes métodos de remoção do petróleo na água.

*Plasticina Electrizante** 17h15

E se construir circuitos eléctricos fosse tão simples como brincar com plasticina? Traga um pouco de imaginação e venha “iluminar” o Pavilhão do Conhecimento com as suas próprias esculturas.

A COZINHA É UM LABORATÓRIO

Átrio (Piso 1) | M/4

*Pão sem glúten: um desafio culinário!** 12h00 | 15h30 | 17h15

Com certeza já ouviu falar de glúten e talvez já tenha lido a inscrição “isento de glúten” em alguns produtos alimentares... mas o que é afinal o glúten? E se tivesse de viver sem ele? Na Cozinha é um laboratório, meta as mãos na massa, torne-se padeiro por 1 h, e descubra como ultrapassar o desafio de conseguir um pão alto, fofo e saboroso mesmo sem glúten. Cozinhe esta ideia.

Participe!

* Participação limitada. Por favor inscreva-se na bilheteira.

Preço das actividades: 3€. Gratuitas na compra do bilhete para as exposições do Pavilhão do Conhecimento.



AGÊNCIA NACIONAL
PARA A CULTURA
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA





Imagens cedidas pela Associação Portuguesa dos Celíacos (APC)

Abstract

The use of xanthan and guar mixtures to produce bread for celiac sufferers: a rheological approach

F. Botelho², P. Mata², P. Fradinho¹, M. C. Nunes¹, A. Raymundo¹

- ¹. Núcleo de Investigação em Engenharia Alimentar e Biotecnologia, Instituto Piaget - ISEIT de Almada, Portugal
- ². REQUIMTE/CQFB, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica

Celiac disease is a digestive pathology which damages the small intestine in genetically predisposed children and adults, caused by ingestion of food containing gluten, namely the **gliadin protein fraction**. Gluten is an elastic three-dimensional network formed by proteins found in wheat, rye, barley, malt and oats. These proteins confer to flour characteristics that enable the production of bread with a spongy and elastic texture. The rice and maize flours, widely used as a substitute of wheat flour for making gluten-free products do not contain the same type of such proteins fractions. However, the bread produced with these flours usually has a very dense texture, with limited sensorial acceptance. In order to improve the texture of bread produced with maize and rice flours the effect of the addition of xanthan and guar was evaluated in the present study.

The dough formulations were prepared with 360g of a mixture of rice and maize flour (50% wt of each), a mixture of xanthan and guar gum with different proportions in a total amount of 0.5 and 1.0% wt., freeze-dried yeast (5g), salt (2g) and water (to obtain a total weigh of 694g). The ingredients were mixed by hand during 10 min, the mass obtained was putted into a shape for fermentation (1.5h in a bath at 37 °C). Then the dough was baked in an oven at 180 °C for 30 min.

The dough was evaluated in terms of texture (Texturometer TA-Xt Plus – Stable Microsystems, using a TPA and a compression test) and linear viscoelasticity by means of Small Aplitude Oscillatory Measuments – SAOS (Rheometer Haake RS-300).

Considering 1% wt. as the total amount of gum, different proportions of xanthan and guar were tested. For the best proportion obtained (50% of each gum), it was evaluated the effect of total gum content (0.5% and 1.0%) on the textural and rheological properties of dough and bread. The formulation with the total content of 0.5% of gums originated bread with a more adequate performance.

The effect of the previous gums hydration, before addition to flour was also investigated and the advantage of this previous step was demonstrated.

The use of xanthan and guar mixtures to produce bread for celiac sufferers: a rheological approach



F. Botelho¹, P. Mata², P. Fradinho³, M. C. Nunes^{3,4}, A. Raymundo^{1,4}

araymundo@almada.piaget.org

1. Instituto Superior de Agronomia/UTL, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa (Portugal).
2. REQUIMTE/CQFB, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa (UNL), 2829-516 Caparica (Portugal)
3. Núcleo de Investigação de Eng^a Alimentar e Biotecnologia, Instituto Piaget, Quinta da Amêndoa de Cima, 2800-305 Almada (Portugal)
4. CEER - Instituto Superior de Agronomia/UTL, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa (Portugal)



Celiac disease

Digestive pathology characterized by damages of the small intestine in genetically predisposed children and adults, caused by ingestion of food containing gluten, namely the gliadin protein fraction

Gluten

an elastic three-dimensional network formed by proteins from wheat, rye, barley, malt and oats – responsible for the viscoelastic dough essential for the production of bread with a spongy and elastic texture.

Rice and maize flours

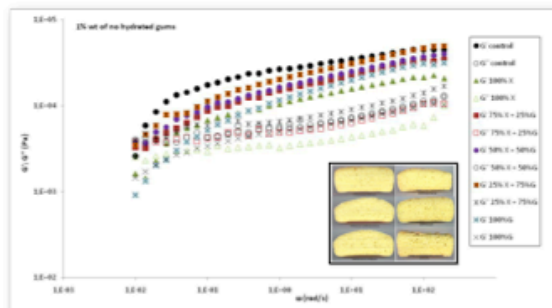
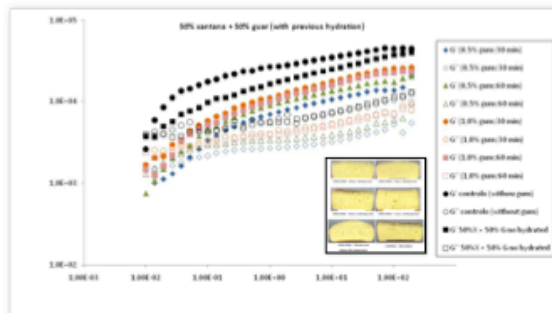
widely used as a substitute of wheat flour for making gluten-free products – no gluten formation

Methodology of dough Preparation

360g of a mixture of rice and maize flour (50% wt of each)
+
mixture of xanthan and guar gum with different proportions in a total amount of 0.5 and 1.0% wt; gums hydration for 0, 30 and 60 min.
+
freeze-dried yeast (5g), salt (2g) and water - total weigh of 694g

The ingredients were mixed by hand during 10 min, the dough was leavened (1.5h in a bath at 37 °C).
Then was baked in an oven at 180 °C for 30 min.

Dough Viscoelastic behavior - results



Effect of the addition of xanthan and guar on the improvement of rice and maize gluten free bread structure and texture

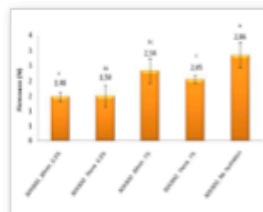
Methodology of dough evaluation

Texture - Texturometer TA-XT plus Stable Microsystems, using a Texture profile analysis test (TPA) - samples, placed in cylindrical glasses (60x48 mm), were punctured with a cylindrical probe of 20 mm diameter in a load cell of 5000 g (5 mm penetration, 2 mm/s crosshead speed, 3 s waiting time). Firmness was considered as the height of the force peak during the first compression cycle of the force versus time, and was the parameter with better discriminating ability to compare dough.
Compression test were performed with a cell of 75 mm diameter, 20% of strain during 60 s (dough samples were molding in cylinders with 24 mm high and 5 mm of diameter) - firmness and elasticity were obtained.

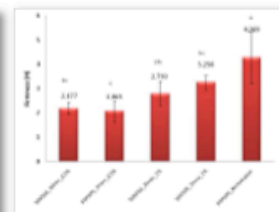
Small amplitude oscillatory measurements – SAOS (Rheometer Haake RS-300), using a parallel plate system (20 mm diameter) with a 2 mm gap.

Dough Texture - results

TPA



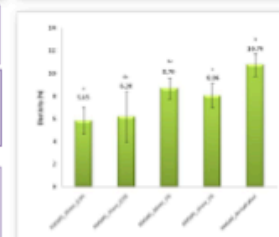
Compression test



The gums hydration implies a significant decrease in firmness and elasticity of the gluten free dough

No significant differences in texture parameters (from TPA and compression test) of dough obtained with different hydration times of the gums (30 and 60 min)

The dough obtained with highest gums concentration (1% wt) are firmer and more elastic than those having lower levels of gums (0.5%)



The dough obtained with the addition of isolated gums (100% xanthan or guar) exhibit a mechanical spectra corresponding to a system with a weaker level of structuring, comparing with the dough obtained with different proportions of gums – possible synergistic effect between the gums

The previous gums hydration induces a decrease of the dough structure, expressed by a lower magnitude of the viscoelastic functions (G' and G'') and by the shape of the mechanical spectra.

The gums addition also induces a reduction of dough structure degree, comparing with the control. However, for highest gum content (1% wt) the dough shows a mechanical spectra typical of more structured system - with 0.5% wt of gum there is a tendency for a crossing point of G' and G'' at low frequencies – pseudo-terminal region.

The gums addition improved the bread texture by reducing its firmness. However, the dough changes resulting from the gums hydration have not been reflected in bread texture.

Desenvolvimento de pão isento de glúten através da utilização de hidrocolóides

Fabiana Botelho^b, Paulina Mata^b, Patrícia Fradinho^a, Cristiana Nunes^a, Anabela Raymundo^{a}*

a - NIEAB, Instituto Piaget. Almada, Portugal; b- REQUIMTE/CQFB, FCT/UNL. Caparica, Portugal

*araymundo@almada.ipiaget.org

O desenvolvimento de produtos alimentares isentos de glúten tem merecido especial atenção nos últimos anos, atendendo às necessidades específicas dos doentes celiacos. Este grupo de doentes apresenta uma patologia digestiva que se caracteriza por uma danificação do intestino delgado em indivíduos geneticamente predispostos. A ingestão de alimentos com glúten, ou seja, a fração proteica gliadina induz a sintomatologia. O glúten é uma rede tridimensional elástica formada por proteínas presentes no trigo, centeio, cevada e aveia, que durante a fermentação auxilia a retenção do CO₂ resultante da fermentação, originando massas com características viscoelásticas e consequentemente pão com uma textura esponjosa e elástica. A produção de pão isento de glúten constitui um desafio em termos tecnológicos, pois implica a criação de massas viscoelásticas sem o suporte da tradicional rede de glúten.

No presente trabalho recorreu-se à utilização de farinhas de arroz e milho e a misturas de gomas xantana e guar. Testaram-se misturas com igual proporção das duas farinhas e com diferentes proporções de goma guar e goma xantana (0, 25, 50 e 100%), para um total de incorporação de goma de 1% (m/m). Avaliou-se ainda o impacto do processo de hidratação prévia das gomas (30 e 60 min) e da concentração total de goma (0,5 e 1%). Estes estudos envolveram análise instrumental da textura da massa e do pão, com o recurso a um texturómetro (Stable Microsystems TA-XT Plus) e caracterização reológica (testes oscilatórios na região viscoelástica linear) da massa, realizada num reómetro de tensão controlada (Haake, RS 300). Efetuaram-se estudos de envelhecimento do pão durante 120 horas, através da análise de textura em modo de compressão.

Verificou-se que a concentração total de goma de 0,5%, sem hidratação prévia e com uma proporção de 50% de cada goma permitiam obter uma massa com melhores aptidões tecnológicas e um pão com uma textura final potencialmente mais aceitável pelo consumidor. Verificou-se ainda que a cinética de envelhecimento do pão, medida em termos de variação de textura ao longo do tempo tem um aumento exponencial da firmeza.

